

生命科学实验指南系列



生理学实验指南

项　辉　龙天澄　周文良　主编



科学出版社

(Q—2016.31)

生命科学实验指南系列·典藏版



图解微生物实验指南	精编人类遗传学实验指南
免疫学技术及其应用	单分子技术实验指南
生物衰老：研究方法与实验方案	现代蛋白质工程实验指南
精编细胞生物学实验指南	活细胞成像（原书第二版）
植物蛋白质组学实验指南	遗传变异分析实验指南
蛋白质纯化指南（原书第二版）	表皮细胞实验指南
环境基因组学实验指南	分子克隆实验指南（原书第三版）（上下册）
实验动物血液生理生化参考手册	精编分子生物学实验指南（原书第五版）
生理学实验指南	现代神经科学研究技术
精编免疫学实验指南	生命科学实验设计指南
酵母遗传学方法实验指南	现代生物化学与分子生物学仪器与设备
人干细胞培养	分子细胞遗传学——技术和应用
抗体制备及使用实验指南	精编蛋白质科学实验指南
病毒的电子显微学研究	实验细胞资源的描述标准与管理规范
植物生物学与生态学实验	实验动物设施运行管理指南
神经生物学实验原理与技术	元基因组学：方法和步骤（影印版）
DNA微阵列实验指南	现代工业微生物学实验技术
基因转移：DNA和RNA的转运与表达	真核生物转录调控——概念策略与技术（原书第二版）
生物实验室管理手册（原书第二版）	动物细胞培养——基本技术和特殊应用指南（原书第六版）



科学出版中心 生物分社
联系电话：010-64012501
E-mail：lifescience@mail.sciencep.com
网址：http://www.lifescience.com.cn

销售分类建议：分子生物技术



赛拉艾芙
生命科学订阅号



定价（全套）：4500.00元

生命科学实验指南系列·典藏版

生理学实验指南

项　辉　龙天澄　周文良　主编

科学出版社

北　京

内 容 简 介

"生命科学实验指南系列"图书均出自名家，包括众多从 Cold Spring Harbor Laboratory Press 和 John Wiley & Sons 等国际知名出版社引进的实验室必备工具书，是生命科学领域最先进、实用、权威的实验手册类优秀图书。该系列图书简单明了，囊括了全世界最著名的生物类实验室操作方法，无论是初学者还是需要深入研究的科研工作者都能从中获益。该系列图书在读者群中有较高的知名度和美誉度，特别是以《分子克隆实验指南》和《精编分子生物学实验指南》为代表，堪称经典，分别被喻为生命科学领域的"蓝宝书"和"红宝书"。现挑选其中的精品集结成典藏版。

图书在版编目（CIP）数据

生命科学实验指南系列：典藏版/雷东锋等编著. —北京：科学出版社，2016

ISBN 978-7-03-047486-5

Ⅰ.①生… Ⅱ.①雷… Ⅲ. ①生命科学–实验–指南 Ⅳ.①Q1-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 043878 号

责任编辑：王 静 李 悦
责任印制：张 伟 / 封面设计：刘新新

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2016 年 7 月第 一 版 开本：787×1092 1/16
2016 年 7 月第一次印刷 印张：1310 1/2
字数：31 074 000

定价：4500.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

本书编写人员名单

主　　编

项　辉　龙天澄　周文良

参加编写人员

（按姓氏汉语拼音排序）

陈　卉　陈笑霞　黄俊豪

李　毅　龙天澄　陶武成

王　芳　王　可　项　辉

张碧鱼　周文良

前言

生理学是研究正常人体及动物生命活动规律的基础学科，是在实践的基础上建立和发展起来的。因此，生理学实验课在生理学教学中占有重要的地位。随着生物信号计算机采样分析系统的应用，使生理学实验教学在仪器连接、调试及使用等方面节省了大量的时间，因此单元时间内生理学实验内容可做大的扩充。在这种形势下，生理学实验教学亟需一本适应现代计算机技术，满足实验教学改革的教学用书。作者在借鉴国内外优秀的生理学实验教材基础上，结合多年实验教学的经验完成了本书。

本书内容的编排仍旧以传统的生理系统为主线。在各系统的实验开始前，对本系统的理论知识进行简介，使学生在开始实验前能熟悉相关的内容，在实验中能加深对理论知识的理解。本书编入了作者在多年实验教学中积累的解剖结构图及生理反应记录图，可以使学生及时掌握实验动态，纠正实验过程中的误差和错误。书中以图示的方式，较详细地介绍了国内两套生物信号计算机采样分析系统的操作方法，让学生能在较短的时间内掌握仪器的使用，用更多的时间进行动物处理及对生理反应进行观察。本书在附录中收集了近 150 道实验教学中的各种问题，并给出了简要答案，以培养学生的学习兴趣并训练学生全面掌握相关知识。本书参考了国外相关实验用书，编写了一些较少出现在国内实验用书中的内容，如细胞转运方面的实验、三大营养物质消化和酶作用的实验。此外，呼吸、尿生成及调节、中枢神经系统、感觉器官及内分泌与生殖等在各章节中都有新增实验内容。

本书先后得到“教育部名牌课程建设”、“中山大学设备与实验室管理处实验教学改革项目”、“设备与实验室管理处实验教材编写项目”、“中山大学生命科学学院教材建设项目”、“中山大学教务处教学改革项目”的大力资助。项辉、王芳、王可、黄俊豪、李毅、陶武成等完成第 1、3～13 章的部分内容和附录。龙天澄、张碧鱼、陈笑霞等完成第 1、2、4～8、10～11 章的部分内容和附录。周文良、陈卉等完成第 13 章的部分内容。书中大多数图片来自作者多年积累，但有少量是引用了参考文献中所列的国内外实验用书。此外，蔡轶隽、刘博、左武麟、王喆、郭景慧、张洁、陈琰、崔继红、胡雯、郭续、朱蕴馨等同志对本书进行了大量资料整理、校对等工作；生命科学学院多届本科生试用此书并提供了绝大多数问题答案，同时提出了很多宝贵建议。在此深表谢意！

本书虽经多年教学实践检验，但编写团队才智有限，而学科发展又十分迅速，书中难免有疏漏之处。恳请各位读者同仁批评斧正，在此深表感谢。

项　辉　龙天澄

2008 年 1 月 6 日

目　　录

第一章　总　　论

第一节　生理学实验的目的与要求

生物科学是非常特殊和令人兴奋的，因为它是了解所有生物奇妙工作的门。生理学是生物科学的分支学科。从发展上看，它之所以能成为一门独立的学科，应归功于17世纪的英国著名医生威廉·哈维（Willian Harvey）。哈维采用活体解剖法和动物实验法在多种动物体上进行研究，并对人体进行观察，才得出血液循环的正确结论，并于1628年出版了《心血运动论》。所以，生理学建立在实验和观察的基础上，生理学实验对生理学的创立和发展起到了重要作用。尽管科学研究中的一些经验对开始生理学的学习是有帮助的，但好奇是开始学习的最重要的前提。

获得科学知识就像了解一个人。除非与他有深入的沟通，否则你永远不会了解这个人。科学也是如此，如果你想很好地了解它，你必须亲密地接触它。

实验室是为与科学“亲密接触”而设立的。它是科学家们用来验证他们想法的地方，它的主要用途是为科学现象的预言能被证明提供基础。同样，它也是你与生理学“亲密接触”的场所。

一、生理学实验简介

生理学是研究生物体生命活动规律的科学，是一门实验性的科学，它的理论和概念与自然科学的其他学科一样，大部分都是根据实验或观察获得的。生理学实验课在生理学教学中占有重要的地位，首先，通过生理学实验训练，学生可以掌握相应的技巧；再次，通过整个过程，学生可以摸索出一些科研思维的相应规律。生理学实验课程承起微观和宏观，紧密联系动物的组织结构和功能，是一门有助于培养学生动手操作能力、自学能力、科学思维能力、创新能力的主干课程。实验教学过程一般包含基础实验、综合实验、科研性实验等方面内容。

基础实验：强调基本知识掌握与基本技能的训练，从验证性实验开始，要求学生掌握生理学实验中最为重要、最为基本的内容，掌握基本的实验操作，包括简单的手术方法、生理仪器的连接和参数调节等。

综合实验：进行较复杂的、实验项目较多的、难度较大的实验，如家兔动脉血压的神经体液调节，既有手术操作的难度，不仅要分离颈动脉并插管，还要分离颈部迷走神经、减压神经和交感神经，另外，还需静脉注射相关药物，实验过程的处理也很复杂。

科研性实验：让学生利用所提供的仪器、动物和药品，自选题目，查阅文献资料，设计实验方案，系统地完成科研性实验的选题、论证、操作、结果分析、讨论和总结，使学生对生理学的科研过程有一个初步了解，在实验教学中培训学生的科研思维和自主解决问题的能力，激发学生开拓创新精神，培养学生各方面能力与综合素质。

二、生理学实验的目的

（1）正确使用生理学实验的基本仪器设备，了解、熟悉或掌握生理学实验的基本操作技术。

（2）了解获得生理学知识的过程和科学方法。

（3）加深对生理学基本概念和基本理论的理解。

（4）培养理论联系实际的能力和对科学工作严肃的态度、严格的要求、严密的工作方法和实事求是的工作作风。为学习相关课程和今后的科研工作提供必要的基本技能培训，并为培养创新型人才打下基础。

（5）通过生理学实验课，逐步培养学生对事物客观地进行观察、比较、分析和综合的能力以及独立思考、解决实际问题的能力。

三、基本要求

1. 实验前

（1）仔细阅读实验教程，了解实验的目的、要求、方法和操作步骤。

（2）结合实验内容，复习有关理论知识，做到充分理解，以提高实验课的实验效果。

（3）查阅有关文献和书籍，预测该实验各个步骤应得的结果，并运用已知的理论知识进行解释。

（4）注意实验中可能发生的问题。

（5）设计好实验原始记录项目和数据记录表格，便于实验时使用。

2. 实验中

（1）认真听实验指导教师的讲解并仔细观察示教操作，特别注意教师所指出的实验注意事项。

（2）实验器材的放置力求整齐、稳当、有条不紊。

（3）严格按照实验指导的步骤进行操作，不可随意更改。不得擅自进行与实验内容无关的活动。要注意保护实验动物和标本，节省器材和药品。在以人作为对象的实验项目中，要恪守注意事项，注意人身安全。

（4）要以严谨、实事求是的科学态度，仔细、耐心地观察实验过程中出现的现象，要随时记录出现反应的时间、反应的表现以及最后的结果，联系课堂讲授的内容进行思考。

（5）在实验过程中若遇到疑难之处，先要自己设法解决。如果一时解决不了，应向指导教师汇报情况，要求协助解决。对贵重仪器，在尚未熟悉性能之前，不可轻易动用。

（6）实验小组成员在不同实验项目中，应轮流进行各项实验操作，力求每个人的学习机会均等。在做哺乳类动物大实验时，组内成员要明确分工、相互配合、各尽其职，并服从统一指挥。

3. 实验后

（1）将实验用具整理就绪，所用器械擦洗干净，清点数目，如数归还。如有损坏、

缺少，应立即报告指导教师。做好实验室清洁工作，将存活动物和动物尸体放到指定的地方。

（2）认真搜集整理实验所得的记录和资料，对实验结果进行分析和讨论，并得出结论。

（3）认真撰写实验报告，按时送交指导教师评阅。

4. 特别注意

实验指导所叙述的实验方法，并不一定是达到每项实验目的的最好方法。肯定还会有更好的方法，希望大家在实验过程中细致观察，深入思考，在实验方法的改革方面充分发挥自己的独创性。

要尊重动物生命，禁止滥用动物。处死动物的时候，要避免给动物造成无谓的痛苦。做到心中有数，尽可能用一只动物多做一些实验，避免不必要的牺牲。

四、撰写实验报告

书写实验报告是生理学实验课的基本训练之一，师生都应认真对待，以便为日后撰写科研论文打下良好的基础。实验报告不同于科学论文，但它们有相同的要素，是报告科学实验结果的正式方式。报告应该有封面页，包括实验的题目、作者名、课程名称、教师和日期。报告正文应该包括五个单独清晰的有标记的部分：介绍、实验材料和方法、结果、讨论和结论、参考文献。当你写实验报告的时候可参考以下模板。

实验报告

封面页

实验题目

作者

课程名称

教师

日期

介绍

提供背景信息

描述所有相关的观察资料

清楚地陈述假说

实验材料和方法

仪器清单或所需的配置

实验的步骤

结果

用图或者表格介绍数据

简要地总结发现

讨论和结论

分析数据

推断所收集的数据是否支持假说
包括其他相关的原始资料信息
解释所有不可控变量或者意想不到的难点
未来工作建议
参考文献
引用所有被用于支持这个报告的原始资料

(1) 实验方法：在这一部分中扼要地写清楚各项实验条件，其中包括实验所用的动物种类、性别及其状态（健康状况，是否经过预先处理等），实验时对动物进行了怎样的处理（如麻醉、手术操作、给予药物或刺激等）。

(2) 实验结果：实验结果可用简练的文字描述；也可用表格，使实验结果突出、清晰，便于相互比较；还可用各种曲线图，使其形象生动，一目了然；或三者并用，使其得到最佳效果。

(3) 讨论和结论：将实验说明的问题以及实验结果，围绕实验目的，根据已知的理论知识对结果进行讨论、分析和逻辑论证。若出现非预期的结果，应考虑和分析其可能原因。实验结论是从实验结果中归纳出的概括性判断，即实验所能验证的概念、原则或理论的简明总结。应用简练的语言严谨地表达结论。实验的讨论和结论的书写是富有创造性的工作，应严肃认真，不要满足或拘泥于书本的解释，不应盲目抄袭书本或他人的作品。应鼓励和提倡学生对实验中出现的现象提出科学的独特性假设。注意：所参考的文献资料应注明出处。

五、生理学实验室规则

(1) 需携带实验指导、记录本等文具准时进入实验室，并穿戴实验衣帽。

(2) 遵守学习纪律，保持实验室安静；严肃、认真、安全地进行实验，不做与本实验无关的事情。

(3) 实验室的一切物品，未经教师许可，不得擅自取用或带出。

(4) 各组需要用到的实验器材、物品，在使用前应查点清楚，不得随意与别组调换；如遇机件不灵或损坏，应报告教师，以便及时修理或更换。

(5) 节约水电及一切消耗性物品，爱护仪器和用具。损坏物品应赔偿。

(6) 保持实验室整洁。公共器材和药品用毕后立即放回原处，动物尸体和废弃物应放到指定地点。

(7) 实验完毕，应将实验器材、用品和实验台收拾干净，查点清楚，放回原处。做好实验室的清洁卫生，关好窗户、水电，经教师检查无误后，方可离开。

第二节 生理学实验的一般性方法

一、一般性步骤

如果没有新的知识衍生和补充，科学就会停滞不前。科学家们在各学科领域调查研究所用的一般性方法被称为科学方法。这种方法不是单一的精确的技术，它必须遵循一

定的原则，即用合理的、实事求是的和可靠的方法处理和解决科学问题并获取知识。它包含五个主要的步骤。

1. 观察现象

最重要的第一步是对一些有趣的现象进行观察。换句话说，科学家在开展研究前必须确定所要研究的问题或针对点。在许多实验室，虽然这些问题已经很明确，但不管怎样，善于观察是开始研究工作的前提。

2. 提出假说

一旦确定了所要研究的针对点，下一步就是要设计有意义的需要你去解答的问题。而这些问题常常以假说的形式出现，假说就是以未经证实的结论去试图解释一些现象。科学家通常不把自己局限在某个单一的假说中，而是提出多种假说后一一检验。

任何好的假说都必须满足几条规则。

第一，假说必须是可检验的，它必须接受事实和经验、科学理论的检验，在检验中或证实或证伪。这一特点比假说的正确性更重要。任何科学研究中预言的正确性依赖于以实验为基础的原始信息的精确性。我们要注意两个问题以确保生理学假说的准确性：①对科学想法的反复实验是非常重要的，特别是科学家们对相同问题有不同的结论时；②科学实验的结论只能来源于实验获得的精确信息。因此，在研究的始终，仔细观察都是非常重要的。

第二，假说是依据已知事实提出的，它必须同这些事实相符合，并能够说明和解释这些事实，不得与事实相冲突，即假说具有科学性和解释性。我们不能想当然地把不存在的东西强加上去支持我们的假说。

第三，假说不能被人格化（anthropomorphic）。人们总是倾向使所有事物人性化。熊本能地保护它们的幼崽，而人格化就会说成熊爱它们的幼崽，其实爱是人类的情感反应。

3. 收集数据

原始假说提出后，科学家们安排实验提供数据（或证据）去支持或反对他们的假说——这就是检验假说。通过各种定性或定量观察来积累数据。观察还常常以使用各种仪器为辅助，如用照相机、显微镜、刺激器及各种电子设备进行生物化学和生理指标的测量。定性的观测可以通过我们的视觉、听觉或是味觉、嗅觉和触觉去判断。科学家也经常试图发现那些不能通过定性观察来确定的微妙差别，这种数据必须通过测量来得到。基于一种或多种类型的精确测量就是定量观察。定量观察通常包括整体或器官水平的仔细测量，如质量、大小和体积；代谢研究中消耗氧体积的测量；尿液中葡萄糖浓度的测定；在静息和运动条件下血压和脉搏的变化等。

所谓实验就是研究者按照研究目的，充分地控制实验的环境，创设一定的实验条件，科学地选择研究对象，以确立自变量与因变量之间因果关系的一种研究方法。有两条通用原则指导实验的进行。

第一条原则是实验的各种变量应该是实验者可操控的。自变量由实验者巧妙确定。举个例子，如果实验目的是测定人体温度对呼吸频率的影响，那么自变量就是人体温度，观察效果或测量值（呼吸频率）被叫做因变量或者反应变量，它的值视自变量所选择的值来定。做这种实验的理想设计为单因素设计，即其他参数不变，改变单个因素水平，观察测量值。

实验要设立一个标本（或者一组样本）作为对照，所有其他实验标本可与之进行比较。对照的重要性我们已经知道，不用过分强调了。对照组提供正常标准，其他样本以相关的因变量可与之比较。用前述例子进一步说明，如果我们想研究体温（自变量）对呼吸频率（因变量）的作用，我们可以收集个体正常体温（为对照组）呼吸频率的数据，将这些数据与从高温组和低温组个体测量所得的呼吸频率数据进行比较。

第二条实验指导原则是实验的可重复性。如果只对一个手术病人使用试验药物镇痛有效果就说实验是成功的，这无疑是科学的自杀。在发表这样的观点前，应该有大量病人接受药物治疗和监测，减少手术后疼痛，这样才有科学价值。然后，其他研究者通过类似的实验将有可能支持那些结论。可重复性是科学方法中的重要部分，是对许多假说支持或反对的首要根据。

在进行实验和观察时，必须仔细记录数据。通常，原始数据用表格形式记录。表格中应该标识研究的变量和每个样品的结果。这些原始数据将被重新组织和处理来表达更具生理学意义的实验结果。

4. 处理和分析数据

最终数据的形式由所收集的数据性质决定。通常，最终数据表达了原始测量值（原始数据）转换成其他形式的信息。这意味着需要进行统计处理（如求均值等），或单位转换。在很多情况下需要用图表来显示数据。

数据的基本处理

在本实验指南里只需要基本的数据统计处理，如计算平均值、百分比和极差。平均值和极差用于描述大量评估样本中的典型事例。极差是数据中最大数和最小数之间的差。平均值由总和除以样本的数量得到。

制图

对一些实验，要求用绘图显示你的数据（或部分数据）。简单的线形图可提供数据间的关系及数据的趋向。绘图的优点在于节约读者的时间，因为大量统计数据的主要意义可以快速地从图中读出。

绘图主要用线形图，一般用方格纸或坐标纸，现在多用 Excel 或 Origin 等软件。线形图有横坐标（x 轴）和纵坐标（y 轴）。两个坐标轴都应该有统一间距的标尺。通常以实验组的处理条件（自变量）为 x 轴（横坐标），测量值（因变量）为 y 轴（纵坐标）。根据两个变量的关系标出测绘点，然后把测绘点用一条线连起来成直线或曲线。有时候，线形图中的曲线会延伸到坐标轴的最远端，这样可以预知“下面将出现什么”。尽管你会产生怀疑，但通过技术处理提供的信息稍微比通过眼球提供的信息准确！

5. 报告研究的结果

表和图都不足以表达最终的科学结果。最后一步需要简单明了地描述从结果中得到的结论。如果可能的话，还应该与其他研究相同问题的研究者比较你的发现。

科学研究不一定能得到预期的结果。如果你的结果与其他人的结果有偏差，或者与根据课堂笔记、阅读教科书所希望得到的结果有偏差，你可以尝试去解释那些偏差。

结果实际上依赖于所使用的观察技术。实验操作时应经常注意这样一系列的问题。你有没有仔细称量待试动物？你有没有先调准仪器？研究对象的血压是否真的如你记录的那么高，你有没有记录错误？如果你记录准确，是否考虑到研究对象有没有对某种东

西产生心烦意乱的情绪，从而使研究时的变量产生严重错误？解释一个意想不到的结果往往比你从预期结果中所学到的要多。

当实验结果与假说一致的时候，假说是正确的概率就比较高了。

假说通过很多不同的研究者来验证后就可叫作理论。理论有两个重要的用途：第一，理论可把一系列数据联系起来；第二，理论作出预言从而引导新的研究途径。当一条理论被反复证明并显示在生物学领域有广泛应用时，那么可称之为生物学原理。

生理学实验一般性步骤总结如下：

一些现象的观察；

假说的阐明（在观察的基础上）；

数据的收集（用对照实验来检验假说）；

数据的处理和分析；

研究结果的报告（做一份实验报告）。

二、生理学实验的分类

生理学实验是以活的动物或人体作为观察对象和实验材料。根据实验对象的不同可将实验分成人体实验和动物实验两大类。

生理学实验方法虽然多种多样，但通常根据实验的进程也可以将实验分成急性实验和慢性实验两类，而急性实验又可分成离体和在体实验两类。

急性在体动物实验法是在整体水平上主要研究心血管、呼吸、泌尿和消化功能及其神经体液调节的实验方法。它是生理科学实验中常用的实验方法，也是近似生理情况下进行的一种实验方法。适用于综合性研究，所得结果较为全面，但在体的实验受到体内神经体液调节和各种复杂因素的干扰，较难深入了解药物作用的本质和各种变化的细节与内在规律。要分析药物的作用机制还需结合离体实验。两者取长补短，相互补充。

离体器官、组织实验是将动物的某些器官或组织从体内取出并放入特定的生理代用液中，建立与动物机体内环境基本相似的人工环境，以保证脏器或组织维持正常状态。观察并记录其生理活动、病理变化以及各种因素对生理、生化及形态变化的影响。急性离体实验方法可排除在整体情况下体内各种复杂因素的干扰，直接观测离体标本的各项指标，有利于分析作用机制及做定量研究。然而，离体器官、组织实验方法也存在一定的缺点和局限性。它失去了机体完整统一的内环境和神经体液调控作用，失去了体内各种组织、细胞之间的正常比例和相互关系。

另外，根据实验所观察的水平也可将实验分成整体、器官、细胞、亚细胞、分子等水平。

三、生理代用液

为了使标本在离体的情况下还能在一定的时间内保持其近似正常的生理活动，必须尽可能地使标本所处的环境和体内相似，即用人工的方法模拟出机体内环境（人工环境）。人工环境的形成有赖于生理代用液和恒温、通气、恒流的建立。

生理代用液的理化特性（电解质、渗透压、酸碱度、温度等）与体液（细胞外液）相似，故用于离体器官组织实验，可以较长时间维持标本的“正常”机能活动。

生理代用液的基本要求如下。

电解质：溶液中含有一定比例不同电解质的离子，如 Na^+、Cl^-、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、H^+、OH^- 等，是维持组织和器官功能所必需的。动物组织器官不同，对生理代用液中离子的成分和浓度的要求也不同。

等渗：不同动物对同一种物质的等渗浓度要求不相同，如生理盐水溶液，冷血动物用 0.6%～0.75%，而恒温动物要求用 0.9%。

pH：生理代用液的 pH 一般要求在 7.0～7.8，否则会影响组织器官的功能。为了调节和稳定生理代用液的 pH，常在生理代用液中加入缓冲液。常用的缓冲对为 K_2HPO_4/KH_2PO_4、$Na_2CO_3/NaHCO_3$ 等。

能量、营养物：离体实验中一般用葡萄糖提供组织活动所需的能量。

四、实验观察指标的分类

1. 机能性观察指标

这类观察指标以机体整体功能或以某一器官功能为主，设立实验观察项目，并进行定量、定性分析。包括体温、血压、呼吸、心率、全身一般情况等。

2. 代谢性观察指标

代谢性观察指标是指用生物化学方法，检测机体中某些代谢产物、体液因子等，包括血液红白细胞检测、血尿肌酐浓度、血浆纤维蛋白原、凝血因子、白介素、K^+、Na^+、HCO_3^-、Cl^-、pH 等约百余种指标。

3. 生物电信号观察指标

基础医学实验研究中，采集各类生物电信号的指标，对积极研究疾病时器官的功能、大脑神经功能、神经递质效应均有十分重要和不可替代的作用。

4. 形态学观察指标

这类观察指标主要描述器官、细胞的形态改变特征。可以用肉眼观察描述，也可以借助显微镜描述细微结构。

五、实验的基本原则

（1）减少对动物（实验对象）的扰动。

（2）小信号技术、克服非线性。所谓线性系统是指输出与输入间保持直线关系，即输入增加一倍，输出也增加一倍，此外满足叠加原则，即两个输入同时加入，其输出为各自单独输出的和。不满足此关系的系统称为非线性系统。实际上生物系统都是非线性的，不过在小范围内常可以近似看作是线性的。

（3）缩短实验时间，克服时变性。

（4）避开多层次、多系统的相互影响。

六、度量系统

没有测量，我们只能局限于定性的描述。为了确保信息的准确以及便于反复交流，科学家通常使用公认的度量系统。度量系统为十进制。长度、重量、质量、时间和温度标准单位的小数或倍数有特别的名称。如表 1-2-1 列出了度量系统常用的单位，及小数和倍数的前缀。

1. 长度测量

长度的测量单位是米（m）。小物体用厘米（cm）或者毫米（mm）来测量。亚细胞结构用微米（μm）来测量。

2. 容积测量

容积测量单位是升（L）。实验室测量液体容积通常用毫升（mL）表示。

3. 质量测量

许多人混淆使用质量和重量。质量是一个物体物质的总量；一个物体有不变的质量，不管它在哪里——在地球上或者太空。然而，重量是随重力牵引而变化的；重力牵引力越大重量就越大。

质量的测量单位是克（g）。药剂量通常指定用毫克（mg）或者微克（μg）；在临床上，体重指定用千克（kg）表示。

表 1-2-1　度量衡系统

A. 常用单位		B. 分数和倍数			
测量	单位	分数或者倍数		前缀	符号
长度	米（m）	10^{6}	兆	mega	M
容量	升（L）	10^{3}	千	kilo	k
质量	克（g）	10^{-1}	分	deci	d
时间	秒（s）	10^{-2}	厘	centi	c
温度	摄氏度（℃）	10^{-3}	毫	milli	m
		10^{-6}	微	micro	μ
		10^{-9}	纳	nano	n

4. 温度测量

在实验室和临床上，温度的测量有用摄氏度（℃）和华氏度（℉）。

可以用沸腾和结冰的水温来比较两种标准：

水的凝固点是：0℃和 32℉。

水的沸点是：100℃和 212℉。

在摄氏刻度下从凝固点到沸点的范围是 100 度。然而在华氏刻度下是 180 度。正常体温大约为 98.6℉或者 37℃。

华氏度转化成摄氏度，公式如下：

$$℃=5(℉-32)/9$$

摄氏度转化成华氏度，公式如下：

$$℉=1.8\times℃+32$$

七、对结构的认识

开始生理学实验之前，学生对本课程术语的了解是必要的，尤其是了解解剖学方面的术语。这里简述机体三维结构方面的一些术语，便于学生描述机体的位置、解剖方向、解剖平面等解剖内容。

解剖位置（标准位置）：对于人体来说，解剖术语都是基于一个标准位置来定义的，如图 1-2-1 所示，人的解剖位置是直立的，脚稍微分开，头和脚趾朝向前方，手臂垂于

旁边，手掌面向前方。从外表来看，人体分为轴部和四肢部。

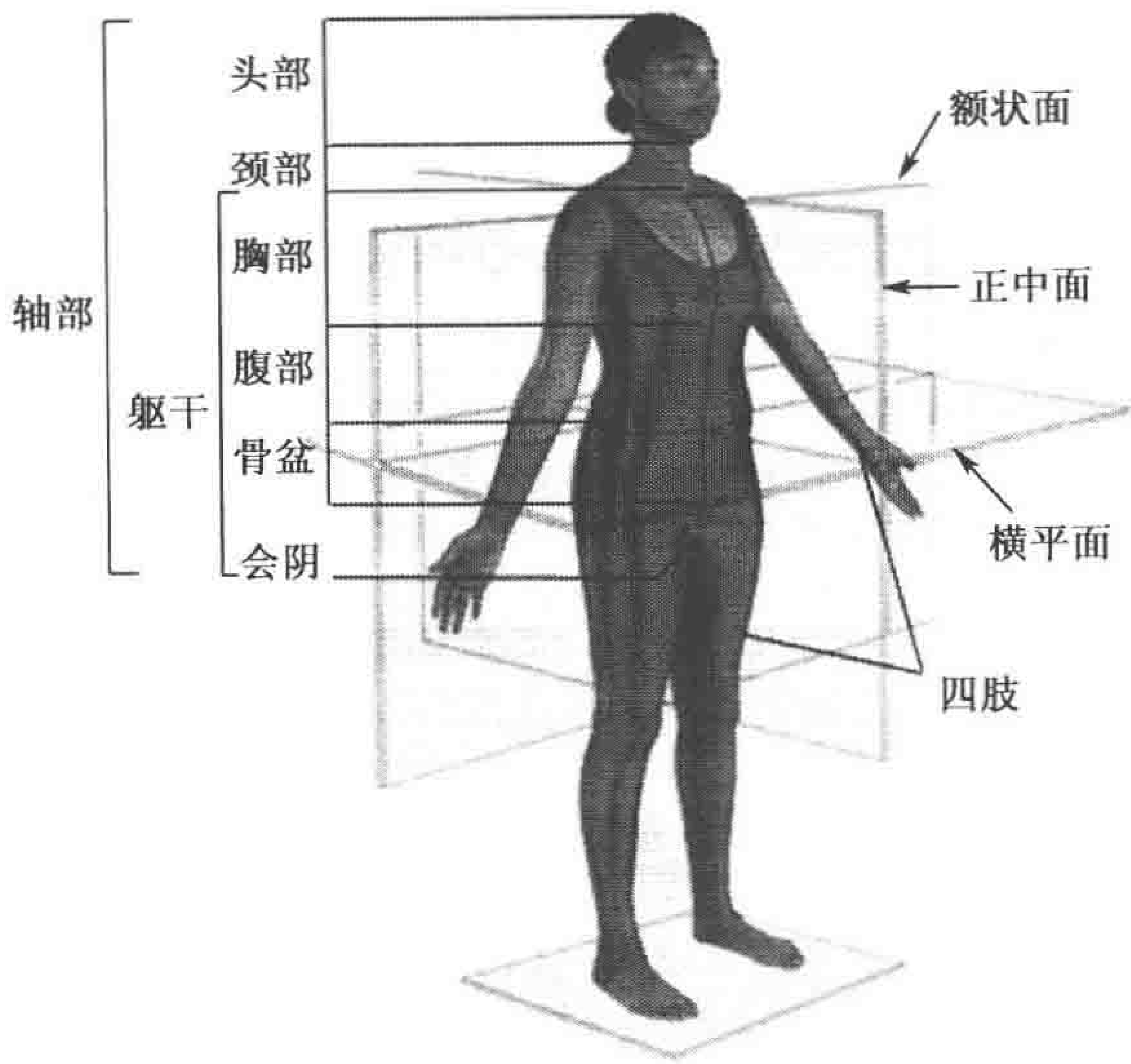


图 1-2-1 人体的解剖位置及机体的三维平面

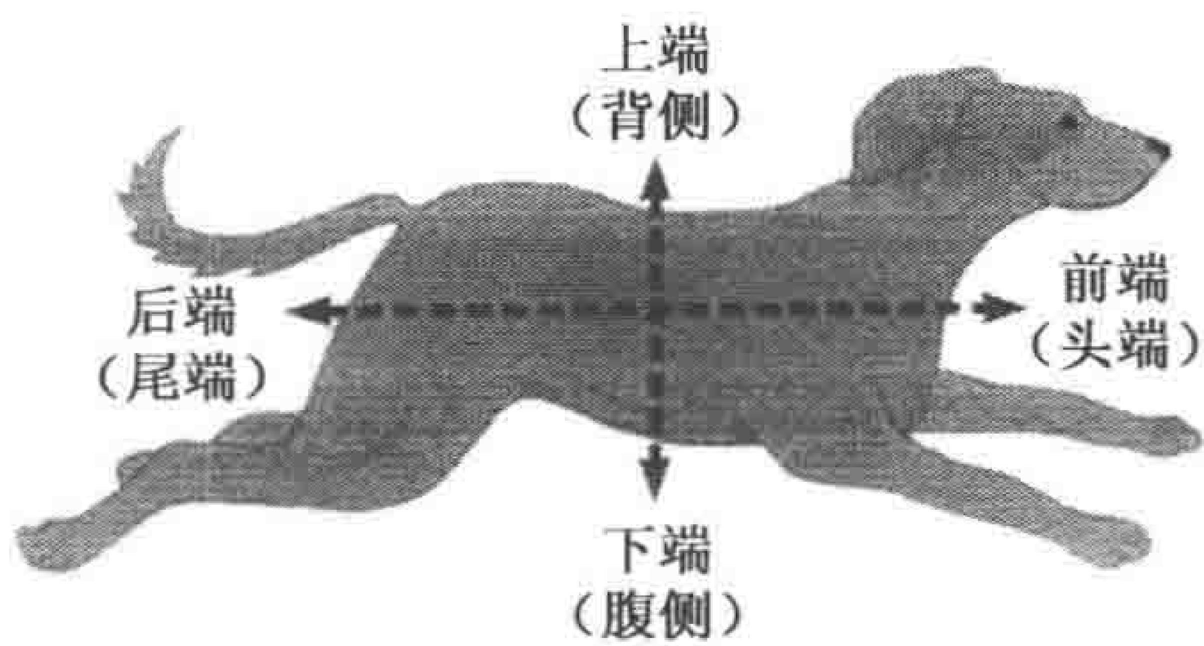


图 1-2-2 机体的定位和方向

机体的定位和方向：对于人体，有三对位置术语，上/下、前/后、中/边；而对于四足动物，经常用头/尾、背/腹、远/近和表/深描述器官的位置，如图 1-2-2 所示。

机体的平面和切面：机体是三维的，为了观察内部结构，常常要利用切片，切片的成像面就是平面。通常有三种平面，矢状面：沿长轴方向把机体分为左右两部分的平面就是矢状面。如左右两部分对称侧为正中面；额状面：有时也称冠状面，是沿长轴方向把机体分为前后两部分；横平面：是沿水平方向把机体分为上下两部分。当器官沿横平面切片时，其切片通常叫横截面。如图 1-2-1 所示。

第三节　常用动物及动物实验基本操作

一、常用实验动物

常用的实验动物有狗、猫、兔、大白鼠、小白鼠、豚鼠、鸽、鸭、蟾蜍或蛙等。无论选用哪种动物，均需是健康的。一般地说，健康的哺乳动物毛色光泽、两眼明亮、眼和鼻无分泌物、鼻端潮而凉、反应灵活、食欲良好。

1. 青蛙、蟾蜍

青蛙和蟾蜍都属于两栖纲，无尾目，是实验教学中常用的小动物。健康的青蛙或蟾蜍皮肤湿润、喜爱活动，静止时后肢蹲坐、前肢支撑、头部和躯干挺起。其坐骨神经-腓肠肌标本可用来观察各种刺激和药物对周围神经、横纹肌或神经肌肉接头的作用。它们的离体心脏在适宜的环境中能持久地、有节律地搏动，常用于研究药物对心脏的

作用。

2. 小白鼠

属哺乳类，啮齿目，鼠科，是医学实验中最常用的且用途最广泛的动物，繁殖周期短，繁殖量大，生长快，温顺易捉，操作方便，又能复制出多种病理模型，适用于需要大量动物的实验。如药物筛选，半数致死量或半数有效量的测定。

3. 大白鼠

属哺乳类，啮齿目，鼠科，性情不如小白鼠温顺，受惊时表现凶恶。它可以进行高级神经活动及代谢活动等实验。与小白鼠相比，其动物模型较为稳定。

4. 家兔

属哺乳类，啮齿目，兔科。家兔品种很多，常用的有：①青紫蓝兔，整体被毛呈蓝灰色，体质健壮，适应性强；②中国本地兔，即家兔，抵抗力不如青紫蓝兔；③新西兰白兔，耳朵长而大，血管清晰，被毛白色，但抵抗力差。

兔耳血管丰富，耳缘静脉表浅，易暴露，常用于止血药物的研究，是药物注射的良好选择部位。家兔性情温顺，便于灌胃和取血，是生理学实验中最常用的动物之一，可用于血压、呼吸、尿生成等多种实验。

5. 豚鼠

豚鼠，又称荷兰猪，属哺乳类，啮齿目，豚鼠科。性情温和，常用于抗过敏药物的筛选。

6. 猫

猫：哺乳类，食肉目，猫科。猫的血压比兔稳定，观察血压反应比兔好。猫的神经系统比较发达，可用 7 于去大脑僵直、姿势反射等实验。

7. 狗

狗：哺乳类，食肉目，犬科。狗的嗅觉比人灵敏，对外适应能力强，血液、循环、消化和神经系统发达，与人类相似。适用于急慢性实验，尤其在慢性实验中是最常用的动物。但在教学实验中一般不选用。

二、常用手术器械

生理学实验常用手术器械与医学外科手术器械大致相同，但也有一些专用器械。现仅介绍常规的手术器械。

1. 手术刀

手术刀主要用来切开皮肤和脏器。手术刀片有圆刃、尖刃和弯刃三种。刀柄也分多种，最常用的是 4 号刀柄和 7 号刀柄。可根据手术部位、性质的需要自由拆装和更换变钝或损坏的手术刀片。

持刀的方式有 4 种：①执弓式，是一种常用的持刀方式。其动作范围广泛而灵活，用于腹部、颈部或股部的皮肤切口；②执笔式，此法用力轻柔而操作精巧，用于切割短小而精确的切口，如解剖神经、血管，做腹膜小切口等；③握持式，常用于切割范围较广、用力较大的切口，如切开较长的皮肤、截肢等；④反挑式，此法多使用刀口向弯曲面的手术刀片，常用于向上挑开组织，以免损伤深部组织。如图 1-3-1。

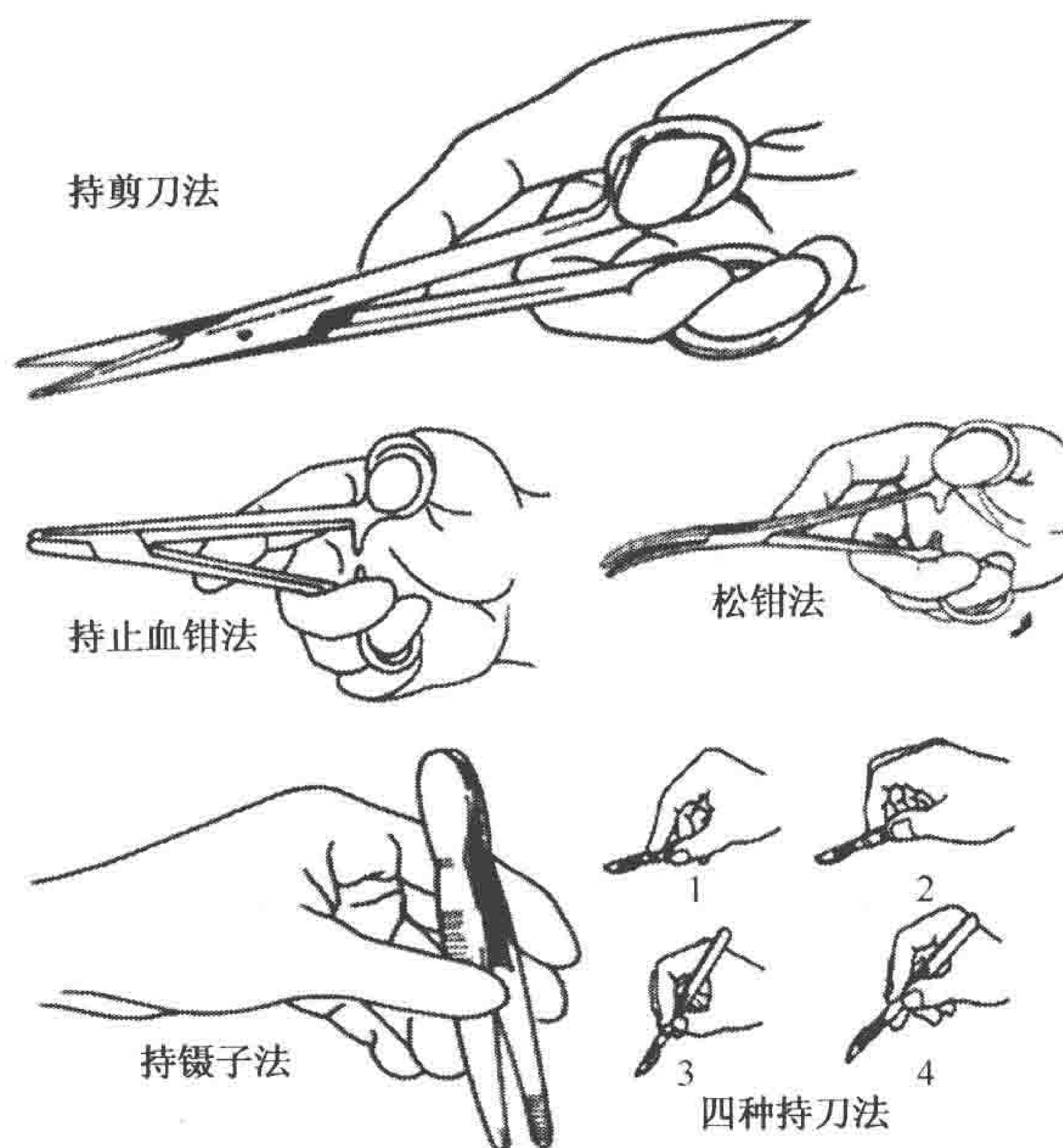


图 1-3-1　常用器械的握持方法

2. 手术剪和粗剪刀

手术剪分钝头剪、尖头剪，其尖端还有直、弯之分。主要用于剪开皮肤、肌肉等软组织，也可用来分离组织，即利用剪刀尖插入组织间隙，分离无大血管的结缔组织。另外，还有一种小型的眼科剪，主要用于剪血管和神经等软组织。一般说来，深部操作宜用弯剪，不致误伤。剪线大多为钝头直剪；剪毛用钝头、尖端上翘的剪毛剪；粗剪刀，为普通的剪刀，在蛙类实验中，粗剪刀常用来剪蛙的脊柱、骨和皮肤等粗硬组织。正确执剪姿势是用拇指与无名指持剪，食指置于手术剪的上方。

3. 手术镊

手术镊种类很多，名称也不统一，常用的有无齿镊和有齿镊两种，用于夹住或提起组织，以便剥离、剪断或缝合。有齿镊用于提起皮肤、皮下组织、筋膜、肌腱等较坚韧的组织，使其不易滑脱。但有齿镊不能用以夹持重要器官，以免造成损伤；无齿镊用于夹持神经、血管、肠壁或其他脏器等较脆弱组织，而不致使之受损伤。正确执镊方法如图 1-3-2，用力适当。

4. 血管钳

血管钳又称止血钳，有直、弯、带齿和蚊式钳等数种。主要用于夹血管或止血点，以达止血的目的。也用于分离组织、牵引缝线、把持或拔缝针等。正确持钳和持剪方法相同。开放血管钳的方法是利用右手已套入血管钳的拇指与无名指相对挤压，继而两指向相反的方向旋开，放开血管钳。

5. 骨钳

在打开颅腔和骨髓腔时，用于咬切骨质。

6. 颅骨钻

用于开颅时钻孔。

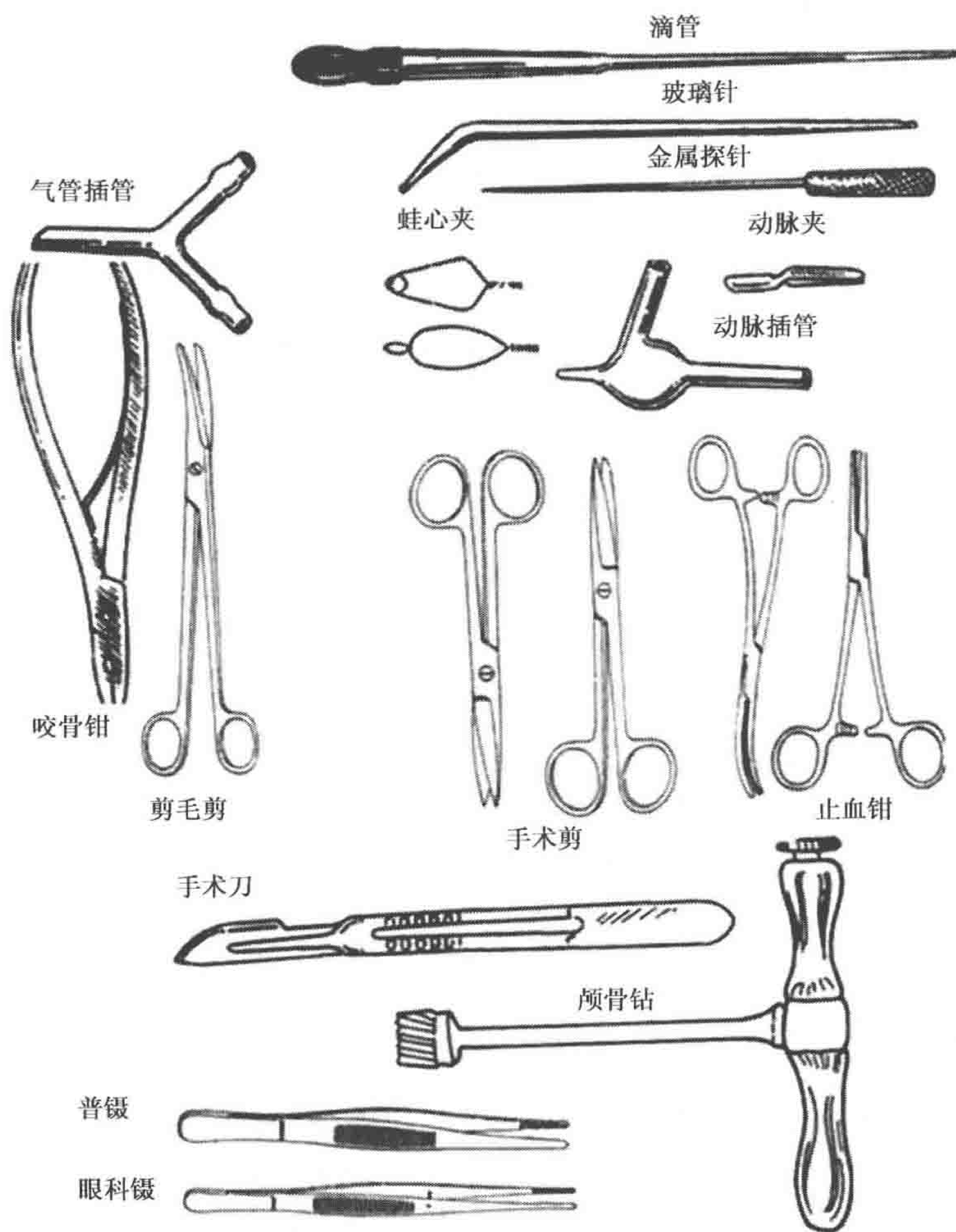


图 1-3-2　常用手术器械

7. 气管插管

急性动物实验时，插入气管，以保证呼吸通畅，或做人工呼吸。一端接气鼓或换能器，可记录呼吸运动。

8. 血管插管

有动脉插管和静脉插管。一些小型动物的动脉插管可用 16 号输血针头磨平来替代。在急性实验时插入动脉，另一端接 YP100 压力换能器或水银检压计，以记录血压。静脉插管插入静脉后固定，以便在实验过程中随时用注射器向静脉血管中注入药物和溶液。

9. 金属探针

专门用来毁坏蛙类脑和脊髓。

10. 玻璃分针

专用于分离神经与血管等组织。

11. 蛙心夹

在蛙心室舒张时，用夹的前端夹住心室尖，尾端用线系在换能器（或杠杆）上。

12. 动脉夹

用于短期阻断动脉血流，如在动脉插管时使用。

各种手术器械使用后，都应及时清洗，齿间、轴间的血迹也应用小刷子刷洗干净。洗净后用干布擦拭，忌用火烤烘干或重击。久置不用的金属器械应擦油保护。

三、动物的抓取和固定

在进行实验时，为了不损害动物的健康，不影响观察指标，并防止被动物咬伤，首先要限制动物的活动，使动物处于安静状态，工作人员必须掌握合理的动物抓取固定方法。抓取动物前，必须对各种动物的一般习性有所了解。操作时要小心仔细、大胆敏捷、熟练准确、不能粗暴、不能恐吓动物，同时，要爱惜动物，使动物少受痛苦。

1. 小鼠

小鼠性情较温顺，一般不会咬人，比较容易抓取固定。通常用右手提起小鼠尾巴将其放在鼠笼盖或其他粗糙表面上，在小鼠向前挣扎爬行时，用左手拇指和食指捏住其双耳及颈部皮肤，将小鼠置于左手掌心、无名指和小指夹其背部皮肤和尾部，即可将小鼠完全固定。在一些特殊的实验中，如进行尾静脉注射时，可使用特殊的固定装置进行固定。

2. 大鼠

大鼠的门齿很长，在因抓取方法不当而受到惊吓或激怒时易将操作者手指咬伤，所以，不要突然袭击式地去抓它，取用时应轻轻抓住其尾巴后提起，置于实验台上，用玻璃钟罩扣住或置于大鼠固定盒内，这样即可进行尾静脉取血或注射。如要作腹腔注射或灌胃等操作时，实验者应戴上棉纱手套（有经验者也可不戴），右手轻轻抓住大鼠的尾巴向后拉，但要避免抓其尖端，以防尾巴尖端皮肤脱落，左手抓紧大鼠两耳和头颈部的皮肤，并将大鼠固定在左手中，右手即可进行操作。

3. 家兔

家兔比较驯服，不会咬人，但脚爪较尖，应避免家兔在挣扎时抓伤皮肤。常用的抓取方法是先轻轻打开笼门，勿使其受惊，随后手伸入笼内，从头前阻拦它跑动。然后一只手抓住兔的颈部皮毛，将兔提起，用另一只手托其臀部，或用手抓住背部皮肤提起来，放在实验台上，即可进行采血、注射等操作。家兔的固定方法有盒式固定和台式固定。盒式固定适用于采血和耳部血管注射，台式固定适用于测量血压、呼吸和进行手术操作等。

4. 豚鼠

豚鼠胆小易惊，抓取时必须稳、准、迅速。先用手掌扣住鼠背，抓住其肩胛上方，将手张开，用手指环握颈部，另一只手托住其臀部，即可轻轻提起、固定。

5. 蟾蜍

抓取蟾蜍时，可先在蟾蜍体部包一层湿布，用左手将其背部贴紧手掌固定，把后肢拉直，并用左手的中指、无名指及小指夹住，前肢可用拇指及食指压住，右手即可进行实验操作。抓取蟾蜍时不要挤压两侧耳部突起的毒腺，以免蟾蜍将毒液射到操作者眼睛

里。需要长时间固定时，可将蟾蜍麻醉或毁脑、毁脊髓后，用大头针钉在蛙板上。

四、实验动物的编号

实验人员可根据实验动物品种、实验类型及实验方式，选择合适的标记编号方法。一般来说，大、小鼠多采用染色法，家兔宜使用耳孔法，犬、猴、猫较适合挂牌法，犬还可用烙印法。

1. 挂牌法

将号码烙压在圆形或方形金属牌上（最好用铝或不锈钢的金属牌，它可长期使用不生锈），或将号码按实验分组编号烙在栓动物颈部的皮带上，将此颈圈固定在动物颈部。该法适用于狗等大型动物。

2. 打号法

用刺数钳（又称耳号钳）将号码打在动物耳朵上。打号前用蘸有酒精的棉球擦净耳朵，用耳号钳刺上号码，然后在烙印部位用棉球蘸上溶在食醋里的黑墨水擦抹。该法适用于耳朵比较大的兔、狗等动物。

3. 针刺法

用 7 号或 8 号针头蘸取少量碳素墨水，在耳部、前后肢以及尾部等处刺入皮下，即在受刺部位留有一个黑色标记。该法适用于大小鼠、豚鼠等。在实验动物数量少的情况下，也可用于兔、狗等动物。

4. 化学药品涂染动物被毛法

常用染色剂：

（1）3%～5%苦味酸溶液，可染成黄色。

（2）0.5%中性红或品红溶液，可染成红色。

（3）2%硝酸银溶液，可染成咖啡色（涂染后在可见光下暴露 10min）。

（4）煤焦油酒精溶液，可染成黑色。

（5）适用于被毛白色的实验动物，如大白鼠、小白鼠等。

5. 剪毛法

该法适用于大、中型动物，如狗、兔等。方法是用剪毛刀在动物一侧或背部剪出号码，此法编号清楚可靠，但只适于短期观察。

6. 打孔或剪缺口法

可用打孔机在兔耳一定位置打一小孔来表示一定的号码。如用剪子剪缺口，应在剪后用滑石粉捻一下，以免愈合后看不出来。该法可以编 1～9999 号，此种方法常在饲养大量动物时作为终身号采用。

五、动物的麻醉

麻醉（anesthesia）的基本任务是消除实验过程中所致的疼痛和不适感，保障实验动物的安静，使动物在实验中服从操作，确保实验顺利进行。

1. 常用麻醉剂

动物实验中常用的麻醉剂分为三类，即挥发性麻醉剂、非挥发性麻醉剂和中药麻醉剂。

（1）挥发性麻醉剂。这类麻药包括乙醚、氯仿等。乙醚吸入麻醉适用于各种动物，其麻醉量和致死量差距大，动物麻醉深度容易掌握，而且麻醉后苏醒较快。其缺点是对局部刺激作用大，可引起上呼吸道黏膜液体分泌增多，再通过神经反射影响呼吸、血压和心跳活动，并且容易引起窒息，故在乙醚吸入麻醉时必须有人照看，以防麻醉过深而出现上述情况。

（2）非挥发性麻醉剂。这类麻醉剂种类较多，包括苯巴比妥钠、戊巴比妥钠、硫喷妥钠等巴比妥类的衍生物，氨基甲酸乙酯和水合氯醛。这些麻醉剂使用方便，一次给药可维持较长的麻醉时间，麻醉过程较平衡，动物无明显挣扎现象。但缺点是苏醒较慢。

（3）中药麻醉剂。动物实验时有时也会用到像洋金花和氢溴酸东莨菪碱等中药麻醉剂，但由于其作用不够稳定，而且常需加佐剂，麻醉效果才能理想，故在使用过程中不能得到普及。因而，多数实验室不选用这类麻醉剂进行麻醉。

2. 使用全身麻醉剂的注意事项

给动物施行麻醉术时，一定要注意方法的可靠性，根据不同的动物选择合适的方法，特别是较贵重的大型动物。

（1）麻醉剂的用量，除参照一般标准（附录一）外，还应考虑个体对药物的耐受性不同，而且体重与所需剂量的关系也并不是绝对成正比的。一般来说，衰弱和过胖的动物，其单位体重所需剂量较小，在使用麻醉剂过程中，需随时检查动物的反应情况，尤其是采用静脉注射时，绝不可按照体重计算出的用量匆忙进行注射。

（2）动物在麻醉期体温容易下降，要采取保温措施。

（3）静脉注射必须缓慢，同时观察肌肉紧张、角膜反射和对皮肤夹捏的反应，当这些活动明显减弱或消失时，应立即停止注射。配制的药液浓度要适中，不可过高，以免麻醉过急；但也不能过低，以减少注入溶液的体积。

（4）在寒冷冬季做慢性实验时，麻醉剂在注射前应加热至动物体温水平。

六、实验动物采血方法

实验研究中，经常要采集实验动物的血液进行常规检查或某些生物化学分析，故必须掌握血液的正确采集、分离和保存的操作技术。

采血方法的选择，主要决定于实验的目的、所需血量以及动物种类。凡用血量较少的检验如红、白细胞计数，血红蛋白的测定，血液涂片以及酶活性微量分析法等，可刺破组织取毛细血管的血液。当需血量较多时可做静脉采血。静脉采血时，若需反复多次，应自远离心脏端开始，以免发生栓塞而影响整条静脉。而研究毒物对肺功能的影响、血液酸碱平衡、水盐代谢紊乱，需要比较动、静脉血氧分压，二氧化碳分压和血液pH以及K^+、Na^+、Cl^-离子浓度，则应取动脉血液。

采血时要注意：①采血场所要有充足的光线；室温夏季最好保持在25～28℃，冬季则15～20℃为宜；②采血用具和采血部位一般需要进行消毒；③采血用的注射器和试管必须保持清洁干燥；④若需抗凝全血，在注射器或试管内需预先加入抗凝剂。现将采血方法按动物和部位分别加以介绍。

不同动物采血部位与采血量的关系可参考表1-3-1。常用实验动物的最大安全采血量与最小的致死采血量，见表1-3-2。

表 1-3-1　不同动物采血部位与采血量的关系

采血量	采血部位	动物品种
取少量血	尾静脉	大鼠、小鼠
	耳静脉	兔、狗、猫、猪、山羊、绵羊
	眼底静脉丛	兔、大鼠、小鼠
	舌下静脉	兔
	腹壁静脉	青蛙、蟾蜍
	冠、脚蹼皮下静脉	鸡、鸭、鹅
取中量血	后肢外侧皮下小隐静脉	狗、猴、猫
	前肢内侧皮下头静脉	狗、猴、猫
	耳中央动脉	兔
	颈静脉	狗、猫、兔
	心脏	豚鼠、大鼠、小鼠
	断头	大鼠、小鼠
	翼下静脉	鸡、鸭、鸽、鹅
	颈动脉	鸡、鸭、鸽、鹅
取大量血	股动脉、颈动脉	狗、猴、猫、兔
	心脏	狗、猴、猫、兔
	颈静脉	马、牛、山羊、绵羊
	摘眼球	大鼠、小鼠

表 1-3-2　常用实验动物的最大安全采血量与最小致死采血量

动物品种	最大安全采血量/mL	最小致死采血量/mL
小　鼠	0.2	0.3
大　鼠	1	2
豚　鼠	5	10
兔	10	40
狼　狗	100	500
猎　狗	50	200
猴	15	60

1. 兔和豚鼠

(1) 心脏采血：将兔或豚鼠背位固定，剪去左侧胸部相当于心脏部位的被毛，用碘酒和酒精消毒皮肤，选择心脏跳动最明显处作穿刺。一般由胸骨左缘外 3mm 处刺入兔的第三肋间隙；在豚鼠，则刺入第 4～6 肋间隙。穿刺时，最好用左手触诊心脏，以作配合。当针头接近心脏时，就会感到心脏的跳动。这时需将针头再向里穿刺，便可进入心室。由于心脏的搏动，血液会自然进入注射器。如认为针头已进入心脏，但抽不出血液，可把针头稍微退出或进入一点。心脏采血经 6～7 天后，可以重复进行。采血量：兔一次可取血液 20～25mL，豚鼠可取 6～7mL 血液。

(2) 兔耳中央动脉采血：将兔置于兔固定箱内，用酒精棉球擦揉兔耳片刻，使其充

血。在兔耳中央有一条纵行、较粗、颜色鲜红的中央动脉。用左手固定兔耳，右手持注射器，在中央动脉的末端，沿动脉平行地向心方向刺入动脉，轻轻抽动针筒，即可见血液进入注射器。一次可采血约 15mL（采血后应注意止血）。采血一般使用 6 号针头，不可太细。需加注意的是，兔耳中央动脉易发生痉挛性收缩，因此，采血前必须使兔耳充血。当动脉扩张，未发生痉挛性收缩前应立即进行抽血，若时间过长，动脉会发生较长时间的收缩，采血难以进行。此外，兔和豚鼠还可采用股静脉、颈静脉、股动脉、颈总动脉采血，一般需进行动、静脉分离手术，而后才进行采血。

2. 小鼠和大鼠的采血

（1）割（剪）尾采血：当所需血量很少时采用本法。固定动物并露出鼠尾，将尾部毛剪去后消毒，然后浸在 45℃左右的温水中数分钟，使尾部血管充盈。再将尾擦干，用锐器（刀或剪刀）割去尾尖 0.3～0.5cm，让血液自由滴入盛器或用血红蛋白吸管吸取，采血结束后要对伤口进行消毒并压迫止血。也可在尾部作一横切口，割破尾动脉或静脉，收集血液的方法同上。每只鼠一般可采血 10 余次以上。小鼠每次可取血 0.1mL，大鼠0.3～0.5mL。

（2）鼠尾刺血法：大鼠用血量不多时（仅做白细胞计数或血红蛋白检查），可采用本法。先将鼠尾用温水擦拭，再用酒精消毒和擦拭，使鼠尾充血。用 7 号或 8 号注射针头，刺入鼠尾静脉，拔出针头时即有血滴流出。如需长期反复取血，应先靠近鼠尾末端穿刺，以后再逐渐向近心端穿刺。

（3）眼眶静脉丛采血：采血者的左手拇食两指从背部较紧地握住小鼠或大鼠的颈部（大鼠采血需带上棉纱手套），但应防止动物窒息。当取血时左手拇指及食指轻轻压迫动物的颈部两侧，使眶后静脉丛充血。右手持接 7 号针头的 1mL 注射器或长颈（3～4cm）硬质玻璃滴管（毛细管内径 0.5～1.0mm），使采血器与鼠面成 45°的夹角，由眼内角刺入，针头斜面先向眼球，刺入后再转 180°使斜面对着眼眶后界。刺入深度，小鼠约2～3mm，大鼠约 4～5mm。当感到有阻力时即停止推进，同时，将针退出约0.1～0.5mm，边退边抽。当得到所需的血量后，即除去加于颈部的压力，同时，将采血器拔出，以防止术后穿刺孔出血。若技术熟练，用本法短期内重复采血均无多大困难。左右两眼轮换更好。体重 20～25g 的小鼠每次可采血 0.2～0.3mL，体重 200～300g 大鼠每次可采血 0.5～1.0mL，可适用于某些生物化学项目的检验。

（4）断头取血：采血者的左手拇指和食指以背部较紧地握住大（小）鼠的颈部皮肤，并作动物头朝下倾的姿势。右手用剪刀在颈部的 1/2～4/5 处猛剪鼠颈，让血自由滴入盛器。小鼠可采血约0.8～1.2mL，大鼠约 5～10mL。

（5）心脏采血：鼠类的心脏较小，且心率较快，心脏采血比较困难，故少用。活体采血方法与豚鼠相同。若做开胸一次性死亡采血，可先将动物作深麻醉，打开胸腔，暴露心脏，用针头刺入右心室，吸取血液。小鼠可采血约 0.5～0.6mL，大鼠约 0.8～1.2mL。

（6）颈动静脉采血：先将动物仰位固定，切开颈部皮肤，分离皮下结缔组织，使颈静脉充分暴露，再用注射器吸出血液。在气管两侧分离出颈动脉，离心端结扎，向心端剪口将血滴入试管内。

(7) 腹主动脉采血：最好先将动物麻醉，仰卧固定在手术架上，从腹正中线皮肤切开腹腔，使腹主动脉清楚暴露。用注射器吸出血液，防止溶血。或用无齿镊子剥离结缔组织，夹住动脉近心端，用尖头手术剪刀，剪断动脉，使血液喷入盛器。

(8) 股动（静）脉采血：先由助手握住动物，采血者左手拉直动物下肢，使静脉充盈。或者以搏动为指标，右手拿注射器刺入血管。体重 15～20g 小鼠采血约 0.2～0.8mL，大鼠约 0.4～0.6mL。

3. 狗和猫

狗、猫的采血可用前、后肢皮下静脉。其基本方法与静脉注射法相同。需加注意的是抽血时速度要慢，以防针口吸着血管壁。此法一般可抽取 10～20mL 血液。此外，还可采用颈静脉、颈动脉、股动脉取血，基本方法见颈部手术和股部手术。如实验需要抽取大量血液，可用心脏采血法，其方法与兔的心脏采血略同。

七、实验动物的处死

当实验中途停止或结束时，实验者应站在实验动物的立场上以人道的原则去处置动物，原则上不给实验动物增加任何痛苦，也就是要施行安乐死。安乐死是指实验动物在没有痛苦感觉的情况下死去。实验动物安乐死方法的选择取决于动物的种类与研究的课题。

1. 蛙类

常用金属探针插入枕骨大孔，破坏脑脊髓的方法处死。在以蟾蜍为实验对象的操作过程中要防止毒腺分泌物射入实验者眼内。如被射入时，则需立即用生理盐水冲洗眼睛。

2. 大鼠和小鼠

(1) 颈椎脱臼法。右手抓住鼠尾用力向后拉，同时左手拇指与食指用力向下按住鼠头。将脊髓与脑髓拉断，鼠便立即死亡。

(2) 断头法。用剪刀在鼠颈部将鼠头剪掉，鼠立即死亡。

(3) 击打法。右手抓住鼠尾，提起，用力摔击其头部，鼠痉挛后立即死去。或用木锤用力击打鼠头部也可致死。

(4) 急性大出血法。可采用鼠眼眶动脉和静脉急性大量失血方法使鼠立即死亡。

(5) 药物致死法。吸入一定量的一氧化碳、乙醚、氯仿等均可使动物致死。

3. 狗、兔、豚鼠

(1) 空气栓塞法。向动物静脉内注入一定量的空气，使之发生栓塞而死。当空气注入静脉后，可在右心随着心脏的跳动与血液成泡沫状，随血液循环到全身。如进到肺动脉，可阻塞其分支，进入心脏冠状动脉，造成冠状动脉阻塞，发生严重的血液循环障碍，动物很快致死。一般在兔、猫等静脉内注入 20～40mL 空气即可致死。狗由前肢或后肢皮下静脉注入 80～150mL 空气，可很快致死。

(2) 急性失血法。先使动物轻度麻醉，如狗可按每公斤体重静脉注射硫喷妥钠20～30mg，动物即很快入睡。暴露股三角区，用锋利的杀狗刀在股三角区作一个约 10cm 的横切口，把股动、静脉全切断，立即喷出血液。用一块湿纱布不断擦去股动脉切口周围处的血液和血凝块，同时不断地用自来水冲洗流血，使股动脉切口保持畅通，动物在

3～5min 内即可致死。采用此种方法，动物十分安静，对脏器无损伤，对活杀采集病理切片标本是一种较好的方法。

如果处死狗的同时要采集其血液，则在用硫喷妥钠轻度麻醉后，将狗固定在狗手术台上。分离颈动脉，插一根较粗的塑料管，放低狗头，打开动脉夹，使动脉血流入装有抗凝血溶液的容器内，并不断摇晃，以防血液凝固。

第二章　生理仪器的原理及使用

生理学实验中，比较多的是以电子技术为基础，将动物及人体的各种信号转换成电信号进行测量，然后把测量结果作为信息，应用信号处理的方法，根据不同目的进行适当的处理。从仪器技术上来说，生理学测量属于强噪声背景下的低频微弱信号的测量，被测信号是由复杂的生命体发出的不稳定的自然信号。从信号本身到测量方式，都不同于工程上的电子测量，而有其自身的特殊性。

第一节　生理学实验仪器的组成

生理学实验仪器一般由五大部分组成，即刺激系统、传感器、放大器、记录系统和机体（或离体组织）生命维持设备系统（图 2-1-1）。

为使机体或离体组织细胞兴奋，需要给予刺激。常用的刺激装置为电子刺激器。当生理现象是生物电信号时，传感器可以是引导电极，包括记录单细胞电活动的玻璃微电极和记录群细胞电活动的粗大金属电极。当生理现象为其他某种能量形式时，如机械收缩、压力和声音等，传感器又可以是换能器。由于生物电信号较为微弱，所以必须经过放大器放大，才能在记录仪或示波器上记录或显示变化的波形。记录系统使用示波器或描笔式记录仪。

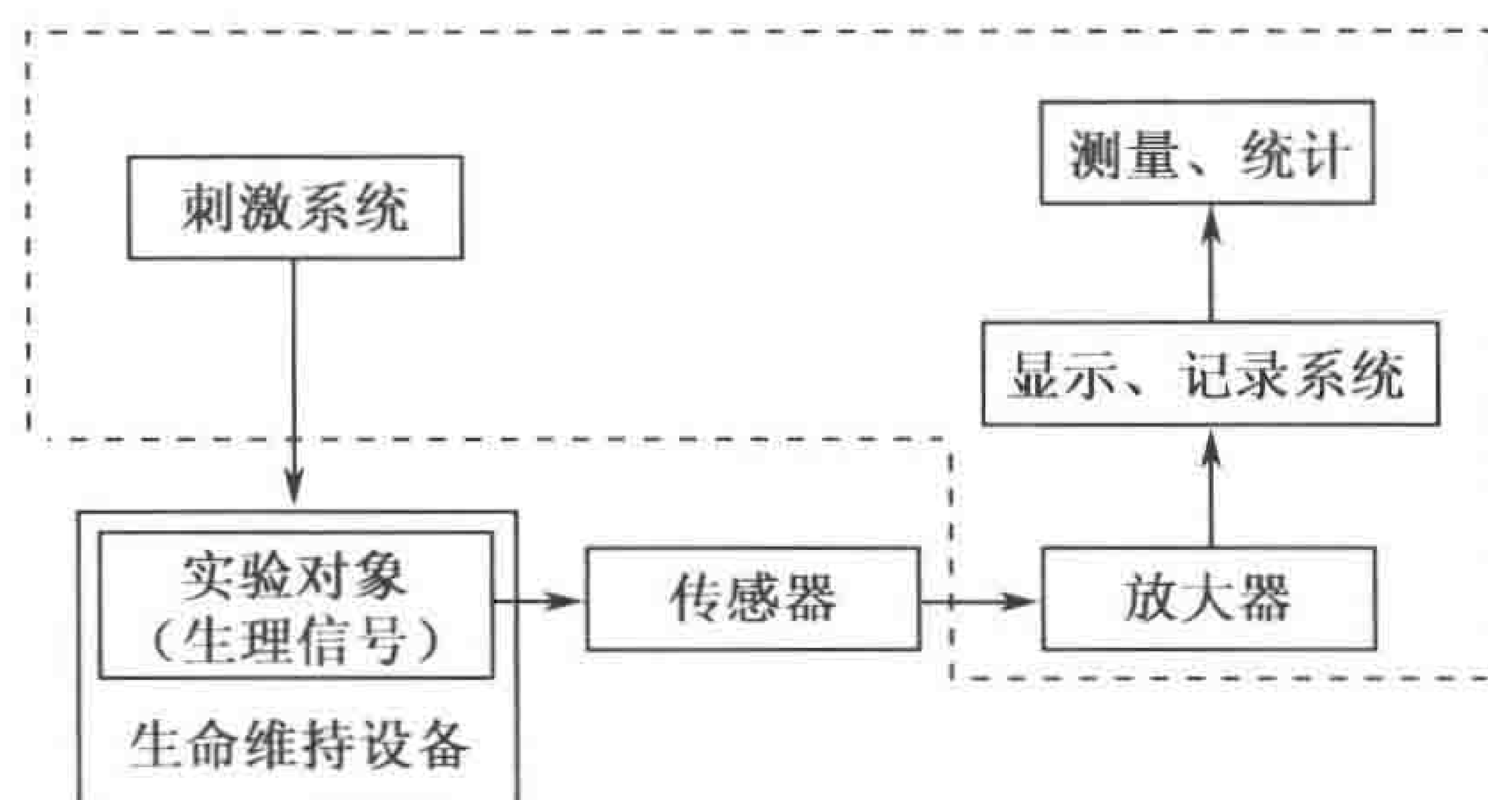


图 2-1-1　生理学实验仪器组成示意图

虚线框内为现代计算机生理信号采集处理系统

对于大多数生理学实验用仪器，从仪器技术来说，不管它多么复杂，一般都可以分解为 3 个主要部分：传感器（包括电极）、放大器和测量电路、数据处理和显示装置。在这三部分中，传感器的功能是把各种生理信息转换成可供测量的电信号或其他可用信号，而电极的功能主要是把各种生物电信号转换成可供测量的电信号。可见，传感器是生物医学测量的前提。对于一项具体的生理指标来说，首先应确定传感器，相应地也就确定了测量原理及组成方案。就参数的性质而言，生理参数可分为力、位移、速度、加速度、流体压力、流量、温度、时间、声、光、电、离子浓度等物理或化学量。传感器能否准确地转换这些量，对于整个测量仪器来说是十分关键的问题。放大器及测量线路

的功能是把传感器所获得的微弱信号加以放大、转换、去伪存真，从而得到数据处理和显示装置可以处理的信号。数据处理和显示装置一般用计算机完成，记录、储存、计算或显示数据。

一、刺激系统

生理学实验中的刺激系统主要是电子刺激器，电子刺激器是一种能产生一定方波的电脉冲仪。电子刺激器输出的电脉冲对生物组织的损伤较小，也可重复使用，刺激的参数便于控制，所以除了对特殊感觉器官或某些需要模仿自然刺激的情况外，电子刺激器几乎成为生理实验通用的刺激装置。

1. 刺激器的参数

刺激器的参数包括刺激强度、波宽、总周期、串长等（图 2-1-2）。刺激强度是指方波的幅度，可用电压或电流强度表示。刺激时间是指方波的持续时间，又叫波宽。应用连续刺激时，还可根据实验需要调节串长。串长表示以重复频率不断输出刺激方波可持续的时间，即一连产生数个方波的时间。总周期是同步脉冲的周期，同步脉冲表示一次刺激的时间起点。同步脉冲输送到整个实验系统中，使各仪器有共同的时间起点，以保持时间上的同步。从同步脉冲到出现刺激方波的时间称为延时。调节延时，可使方波或方波刺激所引起的生理反应出现在荧光屏上合适的位置，以便观察和记录。

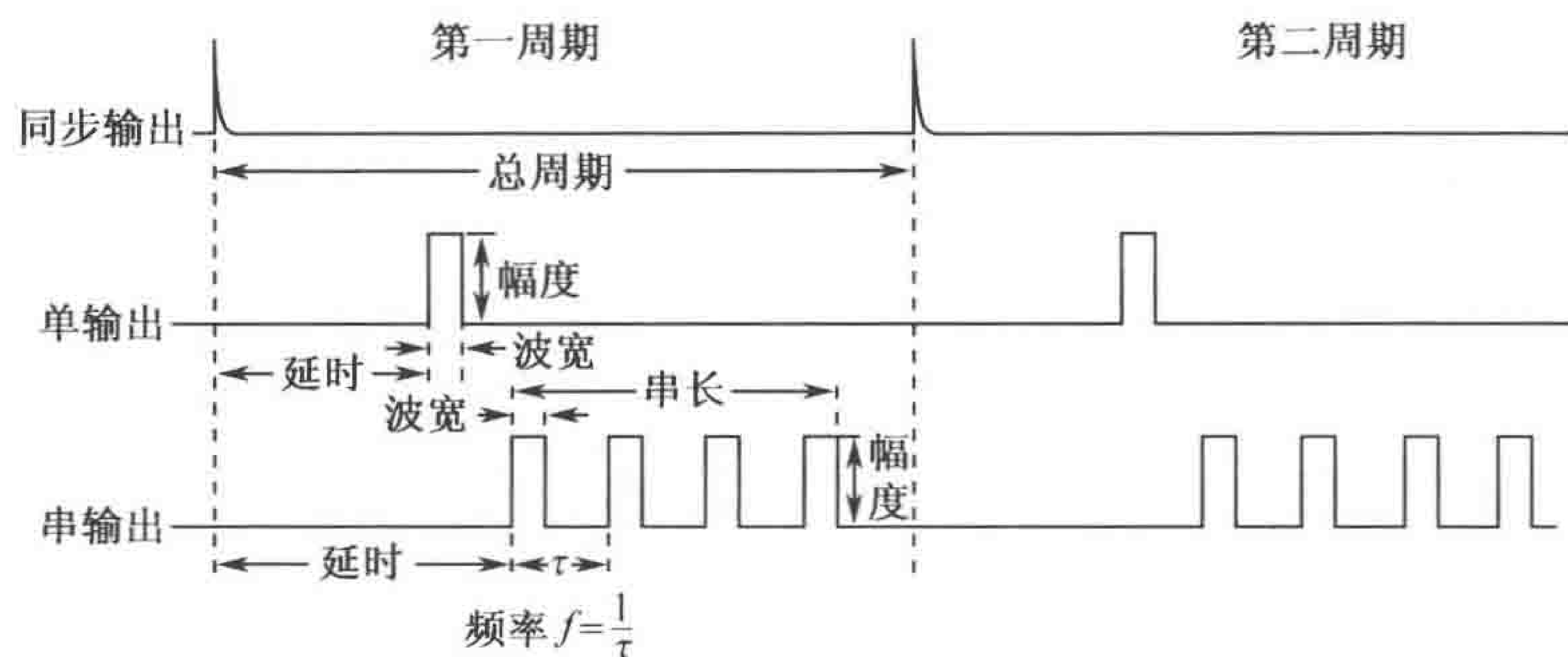


图 2-1-2　电子刺激器的方波刺激波形和各参数示意图

2. 刺激器的使用

刺激器在使用时，除应将上述各参数调节合适以满足实验要求外，还应注意：

（1）使用重复脉冲输出时，要注意频率、波宽以及延时之间的时间关系。因为一定的脉冲频率有相应的周期，即 $f=1/\tau$，如果脉冲的波宽接近甚至超过周期，电路就不能正常工作，脉冲的频率与波宽都不可能稳定，有关参数调节旋钮的刻度也失去准确性。实际使用过程中，一般宜把波宽调节到脉冲的 1/2 周期内。例如使用频率为 100Hz，其周期 10ms，此时波宽宜小于 5ms。此外，延时应尽可能小，延时与波宽之和不宜超过 1/2 周期，否则输出波形也不会正常。

（2）当用示波器观察刺激效应时，首先要配合好扫描速度与延时时间，以便在荧光屏上确定刺激伪迹的位置，然后再对组织进行刺激并引导刺激诱发的电位反应。由于刺激伪迹位置已确定，便容易找到该刺激引起的诱发电位。在用双脉冲进行刺激时，事先在荧光屏上确定刺激伪迹的位置更有必要，否则难以分辨各个刺激引起的反应。

3. 刺激隔离器

在观察电刺激引起的诱发电位时，常看到刺激伪迹过大以致影响诱发电位的波形。刺激伪迹主要由于刺激电极与引导电极之间的电阻性与电容性成分的联系而形成。

为了减小刺激伪迹，可采取诸如增大刺激电极与引导电极之间的距离，在刺激与引导电极之间连接地线，用双极引导以及选择合适的接地点等简便措施。但较为满意的方法是用刺激隔离器把刺激器输出端与地线的电阻与电容联系分隔开。最简单的方法可用低电容变压器（如市售的 1∶2 级间变压器）作为刺激隔离器。刺激器输出的脉冲通过初级线圈时，可感应次级线圈再产生脉冲输出。在生理信号采集处理系统中，通常已在刺激器的输出部分装上隔离器。

二、传　感　器

生物信号可分为电信号和非电信号两大类。若某些生理过程本身就伴随着电变化，只要用一对电极就可以将其信号引导出来。而呼吸、体温、血压等许多生理活动的信息，若要将其引导出来，则必须通过一定的装置将非电量的变化转变为电量变化，然后经过放大，加以显示或记录。

1. 测量电极

电极将生物机体产生的生物电变化引导出来，即变离子电流为电子电流，然后传送到放大器的输入端进行放大。

普通电极多用金属制成。根据其性能可分为露丝电极、保护电极和表面电极等。

2. 换能器

在生理学实验中，换能器能将人体及动物机体各系统、器官、组织直至细胞水平及分子水平的生理功能或病理变化所产生的如体温、血压、血流量、呼吸流量、脉搏、渗透压等非电量转换为电量，然后送至电子测量仪器进行测量、显示和记录。实验中常用的换能器主要有张力换能器、血压换能器等。

(1) JZ100 型张力换能器：采用金属弹性梁（可根据机械力的大小选用不同厚度的弹性金属，即 JZ100 型张力换能器有不同的量程），两组应变片 R_1、R_3 及 R_2、R_4 分别贴于梁的两面（应变片有电阻式与半导体式两种）（图 2-1-3）。两组应变片中间接一只调零电位器，并用 5～6V 直流电源供电，组成差动式的惠斯登桥式电路（图 2-1-4）。

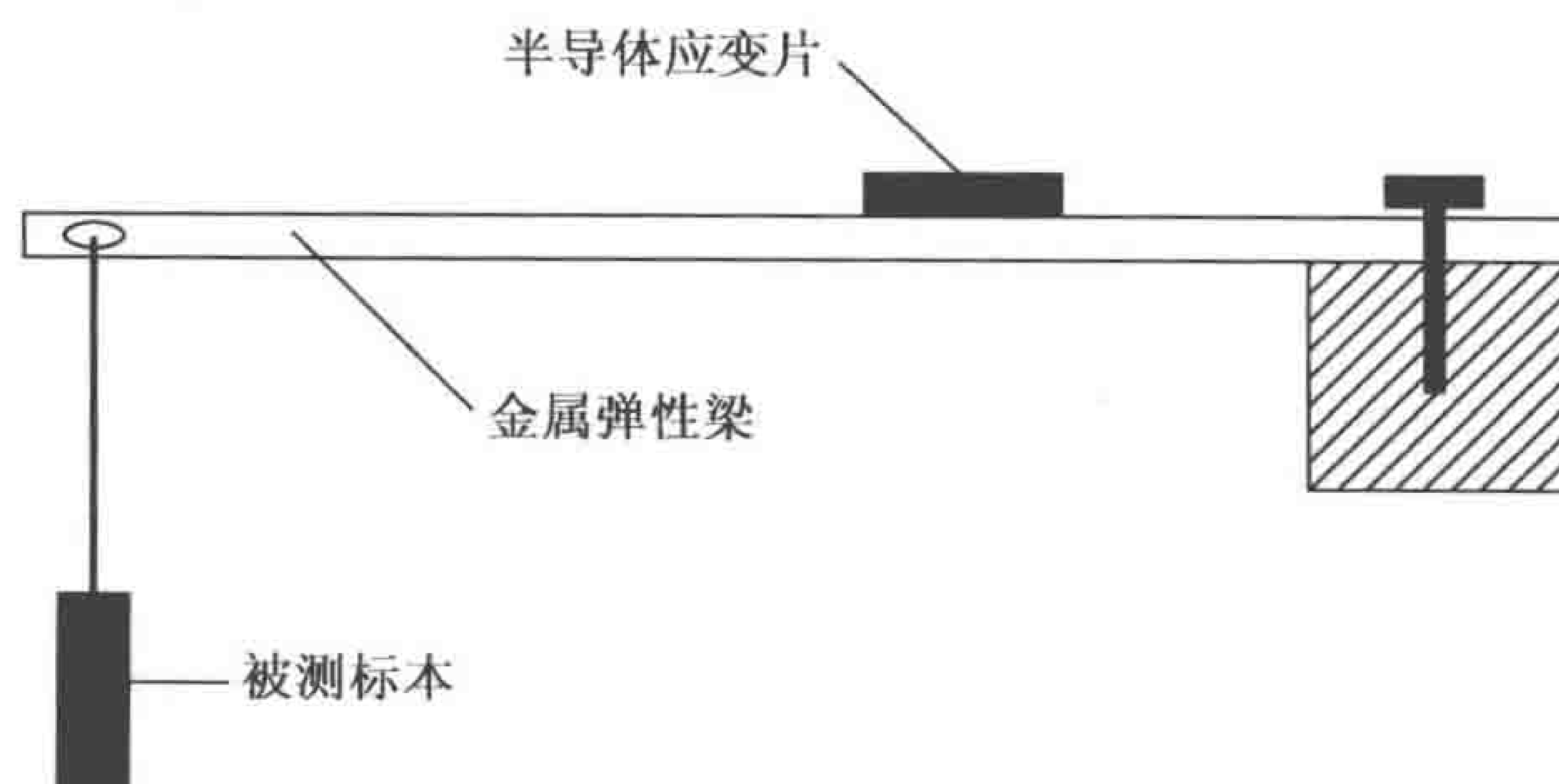


图 2-1-3　JZ100 型张力换能器结构示意图

张力换能器在使用中要注意：①在使用时不能用手牵拉弹性梁和超量加载。张力换

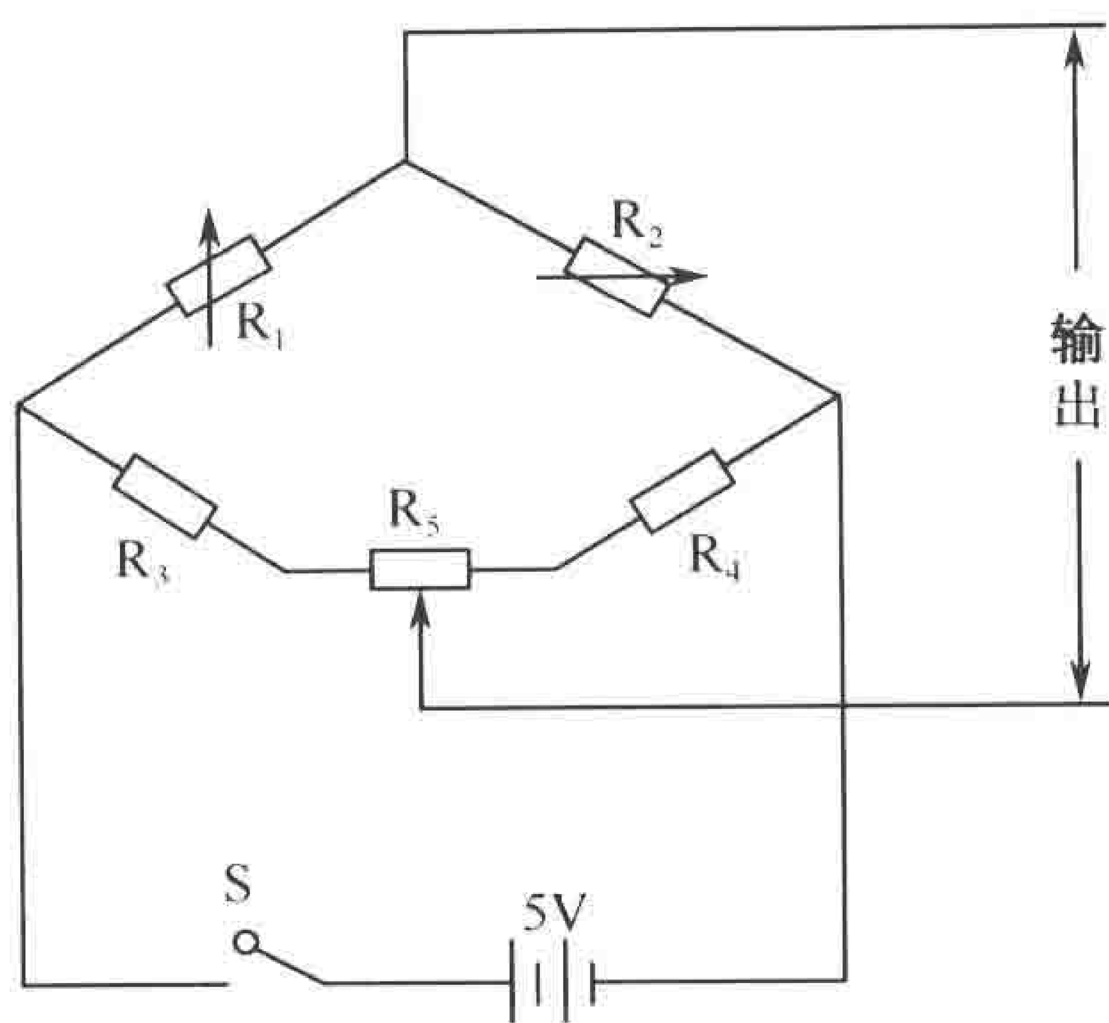


图 2-1-4 惠斯登桥式电路

能器弹性悬臂梁的屈服极限为规定量程的 2～3 倍，如 50g 量程的张力换能器，在施加了 150g 力后，弹性悬臂梁将不能恢复其形变，即弹性悬臂梁失去弹性，换能器被损坏。②防止水进入换能器内部。张力换能器内部没有经过防水处理，水滴入或渗入换能器内部会造成电路短路，损坏换能器，累及测量的电子仪器。③换能器调零时，不得用力太大。④换能器初次与记录仪或生物信号采集处理系统配合使用时，需要定标。

（2）YP100 型压力换能器：它能将压力的变化转换成电能形式，再经记录仪本身放大后输出。测量范围因型号不同而异，有－10～＋10kPa（－75～＋75mmHg）和有－10～＋40kPa（－75～＋300mmHg）两种类型。－10～＋10kPa 型可用于测量静脉压，－10～＋40kPa 型可用于测量动脉压。原理与 JZ100 型张力换能器一样，其内部结构由应变丝（或半导体）组成一个惠斯登电桥，而形成一个非粘贴式的敏感度很高的理想应变电桥。加上桥压，当桥臂电阻均处于平衡状态时，则桥路输出为零。当压力作用在膜片上，应变丝也产生相应的变形，这时电阻也随之而变，其中有一个臂电阻减少，另一个臂电阻增加，从而破坏了应变电桥的平衡状态，而引起随压力大小成比例变化的电压输出。YP100 型压力换能器上面有一透明罩，罩与两根塑料管相连，一根为排气管，一根接血管套管（图 2-1-5）。

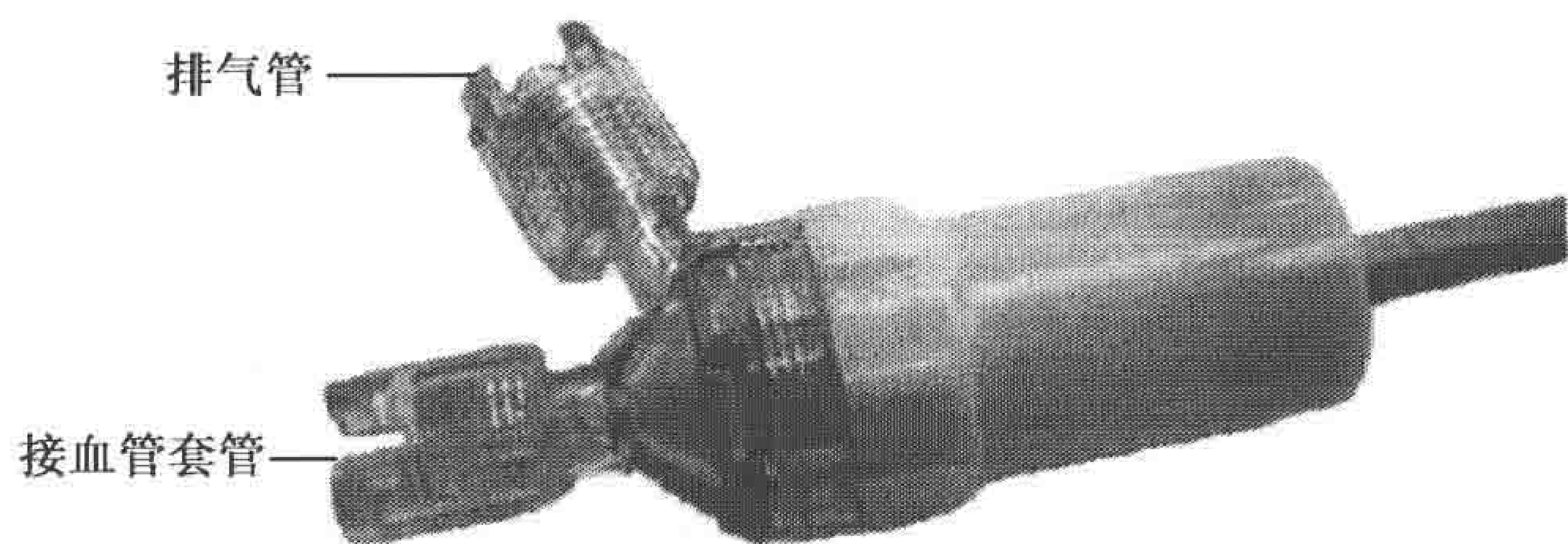


图 2-1-5 YP100 型压力换能器

在使用时，整个外界管道系统应充满液体而没有空气，可从排气管中赶出气泡，然后夹闭。最好垂直安放，这样不仅转换位置时的零点变化小，而且排气泡也方便。接通换能器前应先调好记录系统放大部分的平衡，使记录基线位于零值处。一旦与血管接通，压力传至弹性膜片时，使应变丝变形，即有电流输出。

使用中要注意选择合适量程的换能器；严禁用注射器从侧管向闭合测压管道内推注液体；避免碰撞，轻拿轻放，以免断裂；初次与记录仪（或生物信号采集处理系统）配合使用时，需要定标。

三、放 大 器

从探测系统获得的生物信号常常是很微弱的，甚至淹没于噪声之中，微弱信号被检测后需经放大器进行信号调理与放大，才能正确地显示或记录。

1. 前置放大器

动物组织受刺激时的兴奋反应可用示波器进行观察。但因生物信号常很微弱，仅靠示波器的放大有时尚不够。因此，在接示波器前，往往要先进行一次电压的放大和信号的调整，这样的放大器叫做前置放大器。前置放大器常有直流平衡、时间常数、高频滤波和增益（放大倍数）等参数可调。

2. 放大器的参数调节

针对不同的输入信号，放大器有多项技术参数需在使用时进行调节。

（1）信号的耦合：放大器设置有交流和直流耦合两种输入方式（图 2-1-6），生物电信号和通过换能器转换后的电信号输入放大器进行放大和处理时，首先需要确定信号的耦合方式。

1）直流耦合输入方式：电信号不通过电容器或电感器直接送入放大器的输入端进行放大的方式，称为直流耦合。信号经输入电阻输入放大器，经放大器放大后输出，输出信号的振幅变大，但时程和相位不变。

直流耦合输入方式能观察到信号的真实情况，但信号通过直流耦合输入放大器时，电极电位会干扰信号的直流成分。因此，一般实验时，往往将换能器输出的电信号和胞内记录电极引导的电信号，选择直流耦合方式将信号输入到放大器中。

2）交流耦合输入方式：电信号经电容器等耦合器件送入放大器的输入端进行放大的方式称交流耦合输入方式。

直流电信号不能通过电容器送入放大器的输入端进行放大，交流耦合方式的“隔直”的作用使放大器只放大交流信号而不放大直流信号。交流耦合输入方式在放大生物电信号时避免了电极电位被放大后使放大器出现饱和的情况。

交流耦合输入方式不能观察和记录到信号的直流成分。实验时，往往将细胞外引导的生物电信号采用交流耦合方式输入到放大器中。

在采用交流耦合方式时，应根据信号频谱选择合适的下限转折频率（或时间常数）和上限转折频率，以避免信号的有用频率成分被衰减。

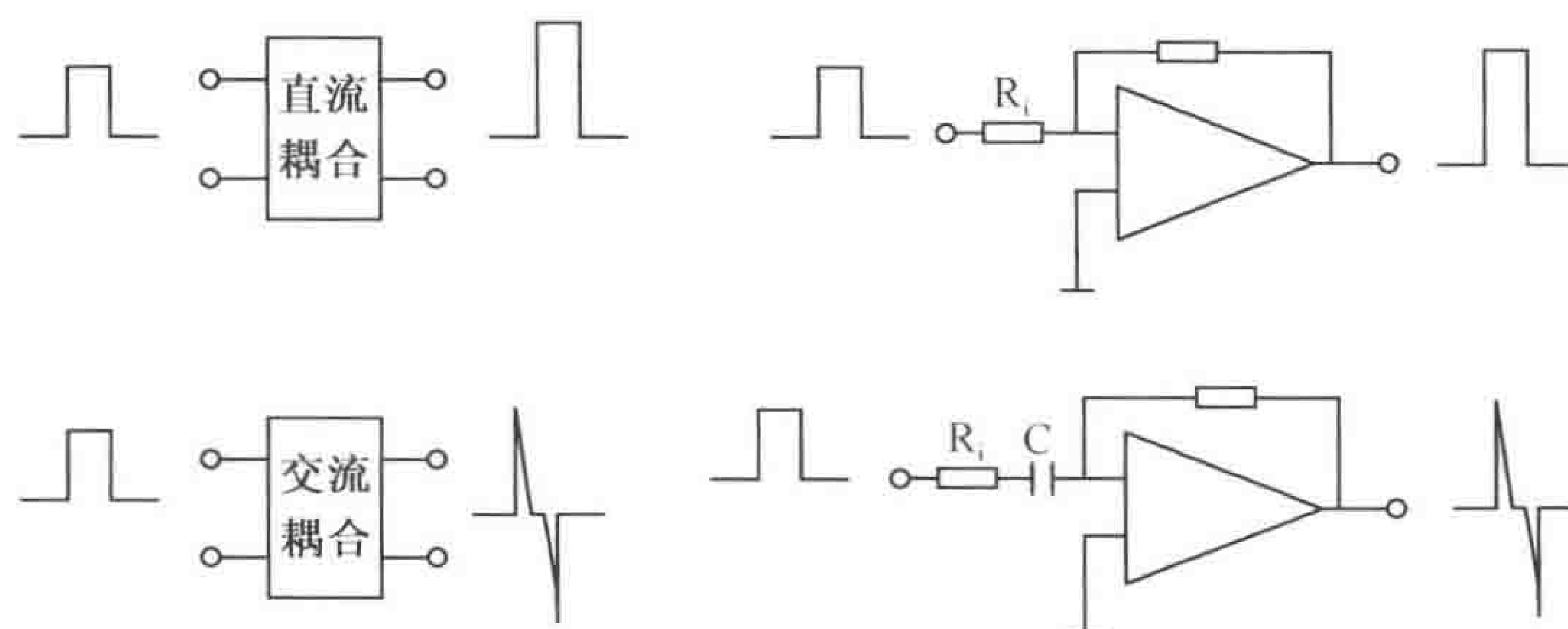


图 2-1-6　生物电信号放大器耦合示意图

（2）信号的通频带：生物电信号的检测是从各种生物电信号、背景干扰信号、极化电压中检测出需要测量的生物电信号，通过滤波（滤波电路或计算机数字滤波）的方法，使背景干扰信号、极化电压和不需要的生物电信号衰减并获得所需的生物电信号。高通滤波与低通滤波共同决定了放大器的通频带。

1）高通滤波：在放大器的输入端接入一组电容器，放大器输入电阻 R 和电容器

C_1～C_4构成高通滤波器（图 2-1-7），允许大于一定频率（下限滤波频率 f_L）的信号通过。

下限滤波频率即放大器通频带的下限转折频率 f_L，是指输入信号中某一频率成分被衰减 3dB（约 0.7071A）时的信号频率。信号频率低于 f_L 频率的成分被衰减得更多，高于 f_L 频率成分的几乎不被衰减（图 2-1-8）。生物信号放大器的时间常数一般有 0.001～5s 多档，供放大不同的生物电信号使用。

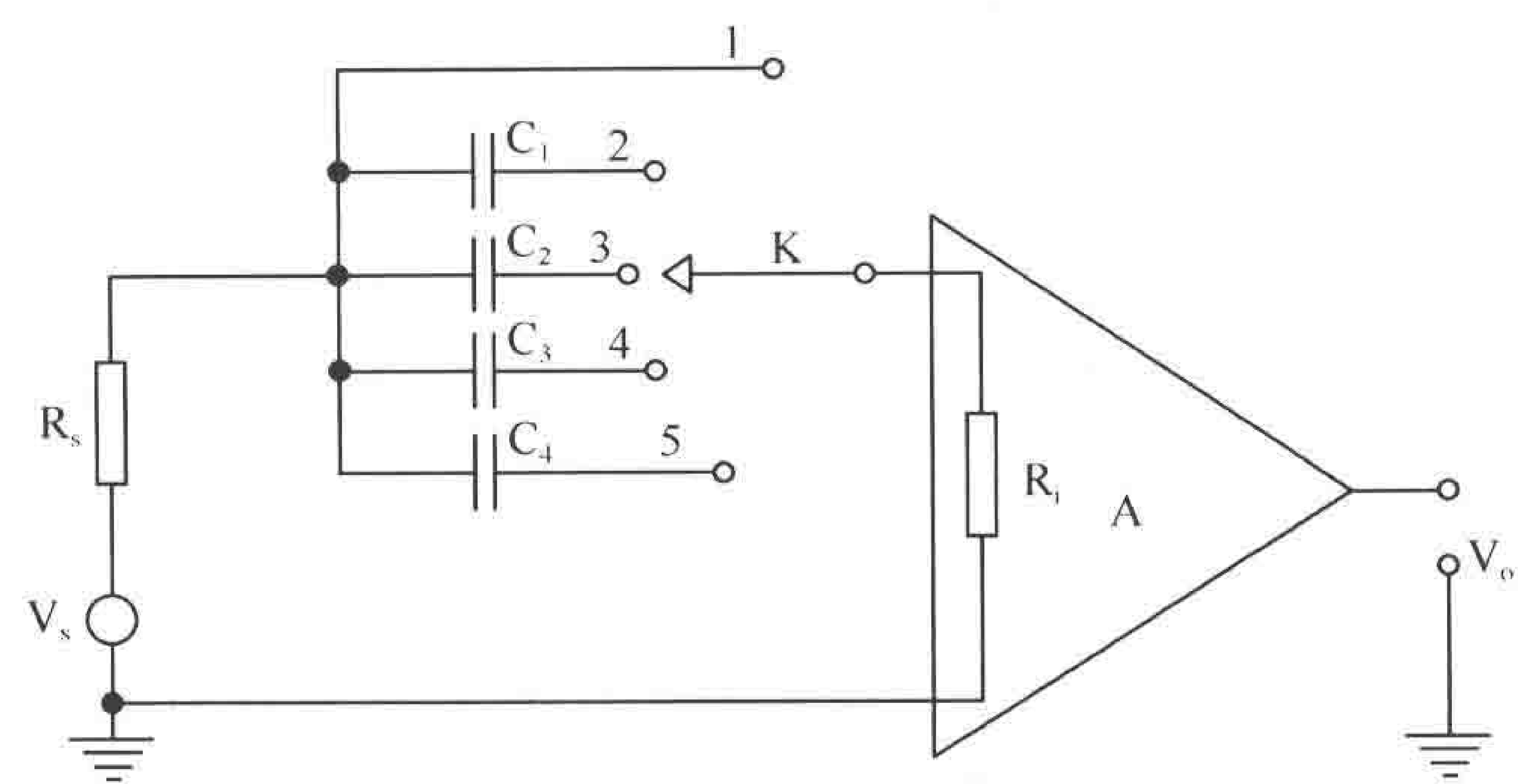


图 2-1-7　高通滤波器原理图

V_s. 信号源；R_s. 信号源内阻；R_i. 放大器的输入电阻；K. 波段开关；C_1、C_2、C_3、C_4. 输入回路中的串联电容；A. 放大器；V_o. 放大器输出电压

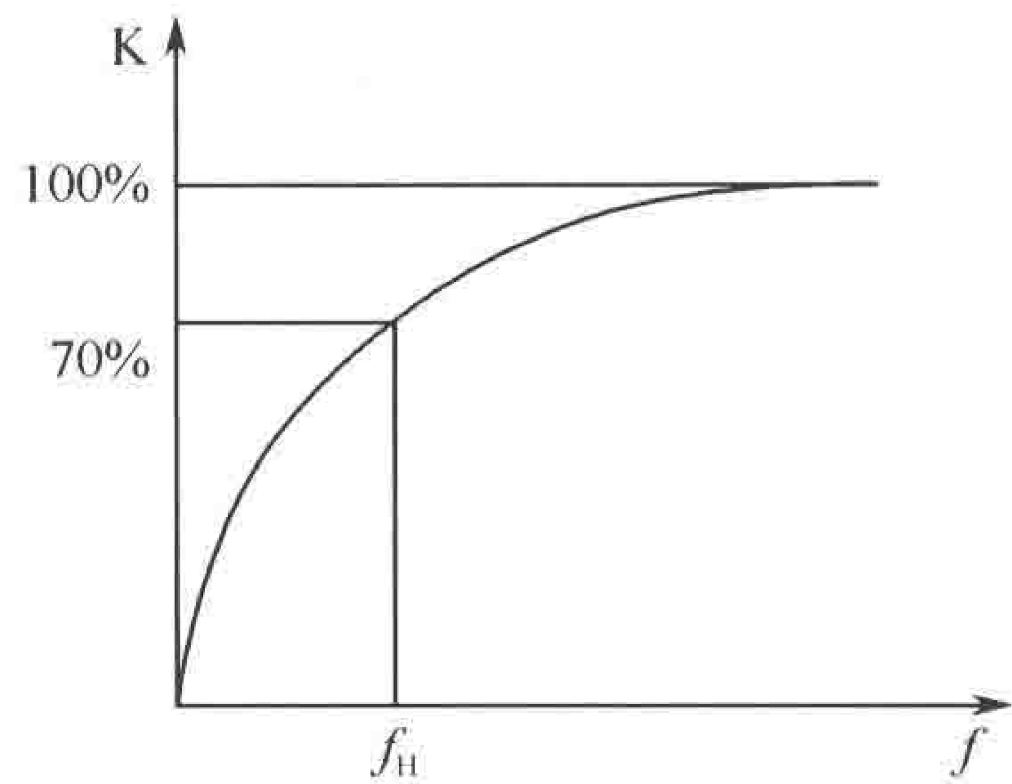


图 2-1-8　高通滤波的频率特性曲线

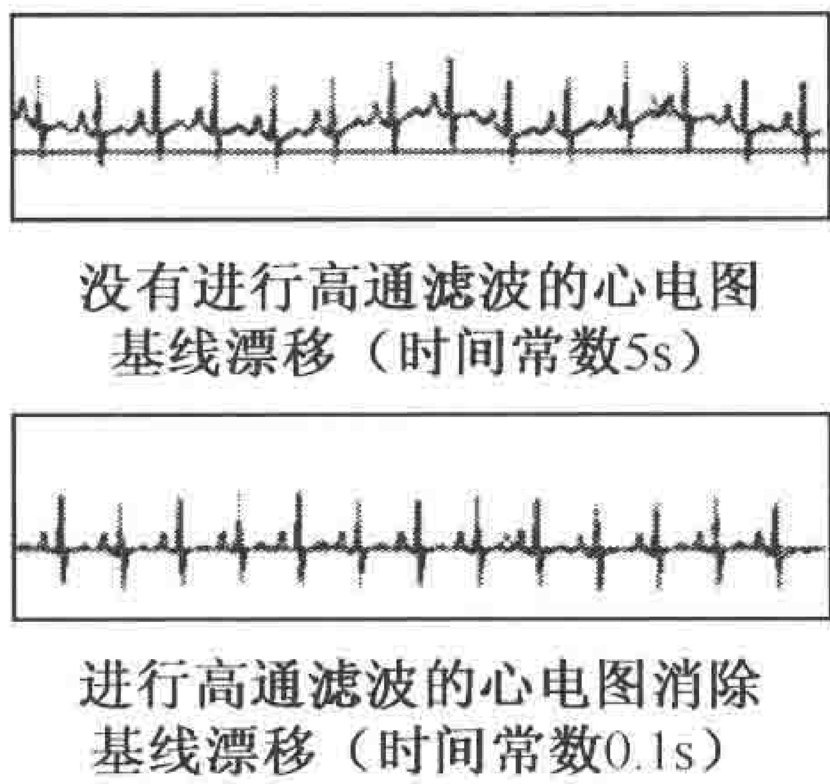


图 2-1-9　心电描记与高通滤波的作用

RC 的乘积称时间常数 τ，通常作为仪器设备重要的可调参数。f_L 与时间常数 τ 之间可互相换算，公式为 $f_L=1/(2\pi\tau)$。如设时间常数为 5s，那么 f_L 对应为 $1/(2\times\pi\times5)=0.03$Hz；若时间常数为 0.001s，那么对应的 $f_L=160$Hz。在生理学实验中，高通滤波对去除低频干扰有重要作用（图 2-1-9）。

2）低通滤波器：如图 2-1-10 所示的电阻 R 和电容器 C_a～C_d，构成低通滤波器，允许小于一定频率（上限滤波频率 f_H）的信号通过。上限滤波频率即放大器通频带的上限转折频率（f_H），是指输入信号中频率等于 f_H 的成分被衰减 3dB（约 0.7071A）时的信号频率。信号频率高于 f_H 频率的成分被衰减更多，低于 f_H 频率的成分几乎不被衰减（图 2-1-11）。生物信号放大器的低通滤波一般设 100Hz～100kHz 多档，供滤去不同高频信号使用（图 2-1-12）。在仪器设备中，上限滤波频率通常用“滤波”参数进行选择，滤波必须以信号不畸变为前提。

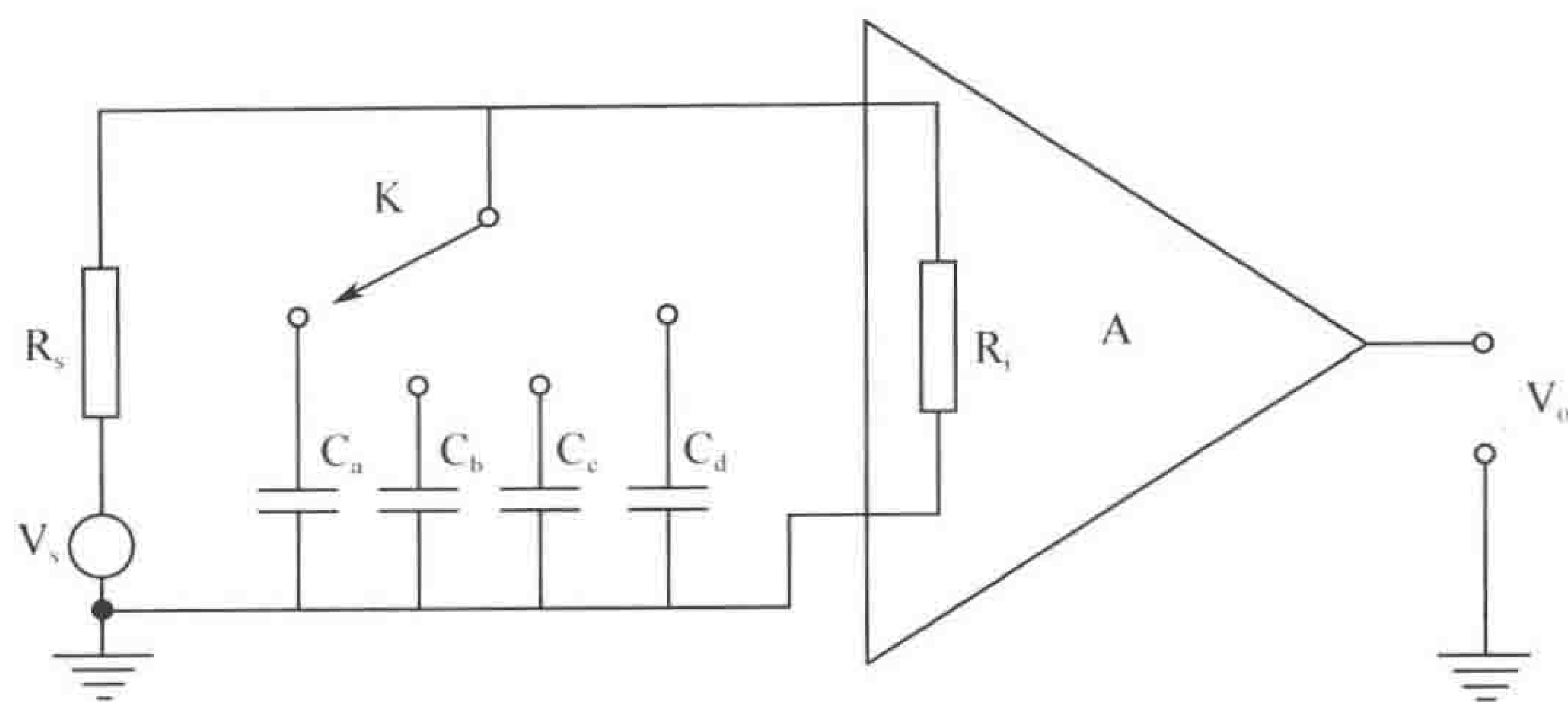


图 2-1-10 低通滤波器原理图

V_s. 信号源；R_s. 信号源内阻；R_i. 放大器的输入电阻；A. 放大器；C_a、C_b、C_c、C_d. 高频滤波电容；K. 波段开关

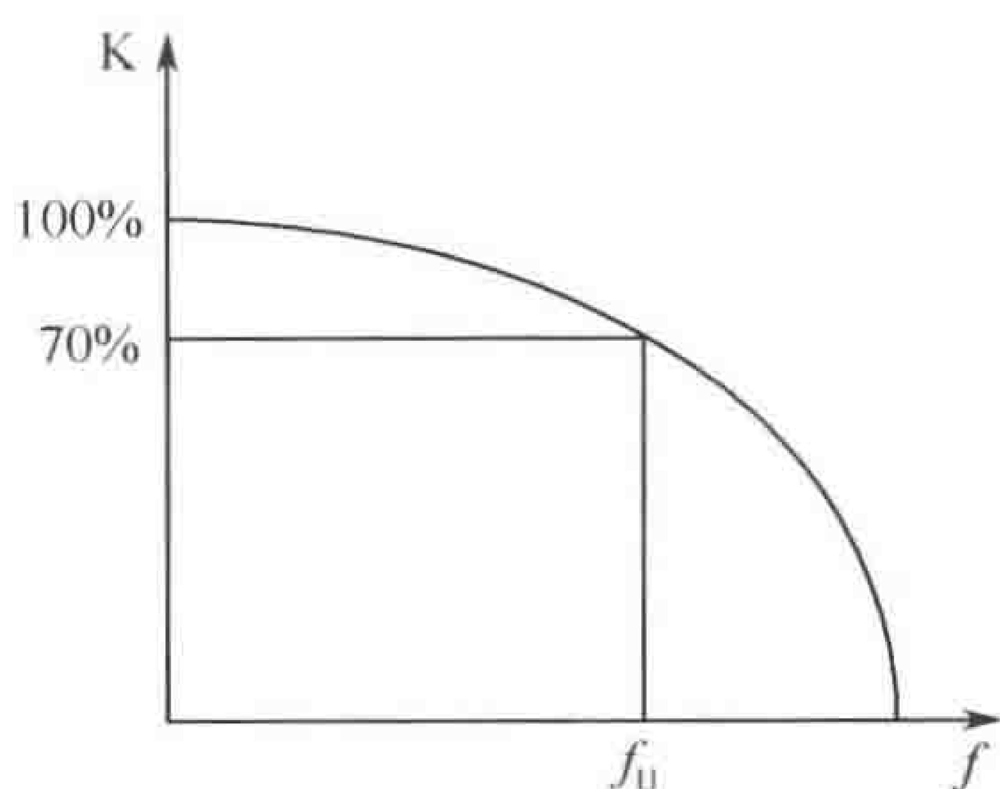


图 2-1-11 低通滤波的频率特性曲线

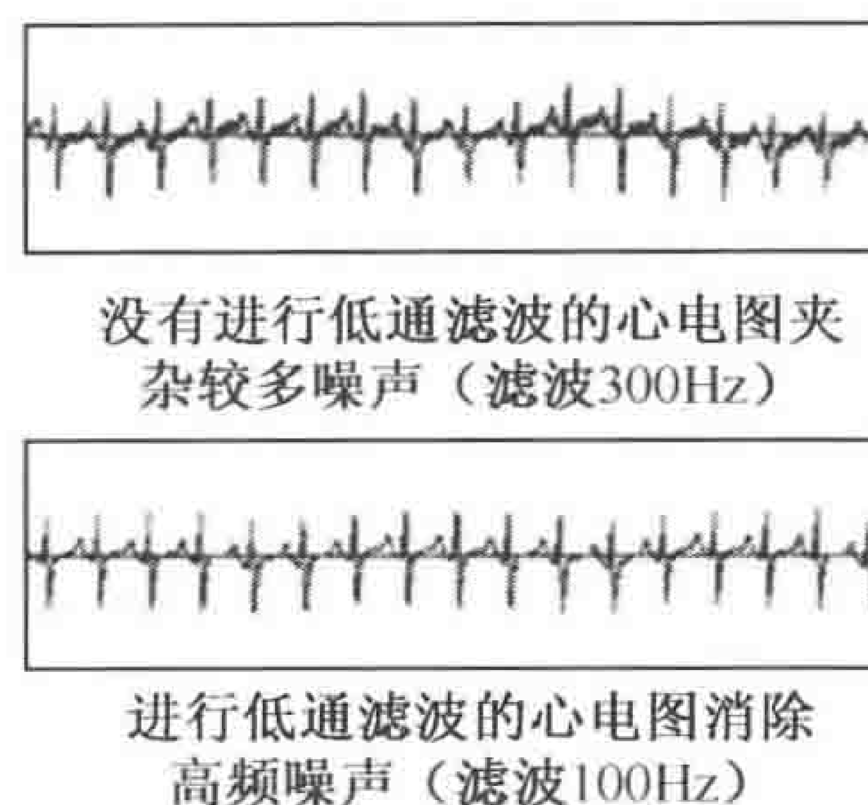


图 2-1-12 心电描记与低通滤波的作用

仪器上的 50Hz 陷波（阻止频率 50Hz 的信号通过）通常为放大器中的带阻滤波器。

当生理学实验测量生物信号时，若在交流耦合输入方式下，一定要正确的选择信号可通过的放大器的通频带（图 2-1-13），否则检测的信号将严重失真。生物电信号经高通滤波输入放大器，信号的低频成分会被衰减。如果高通滤波器的下限转折频率（时间常数）选择不当，信号的有用成分就会丢失。在放大生物信号时，如果有高频干扰信号影响生物信号的观察和测量时，则可调节放大器的低通滤波器，使上限转折频率从高到低逐渐降低，逐步衰减高频干扰信号。但上限转折频率过低，也会将有用的信号衰减掉。

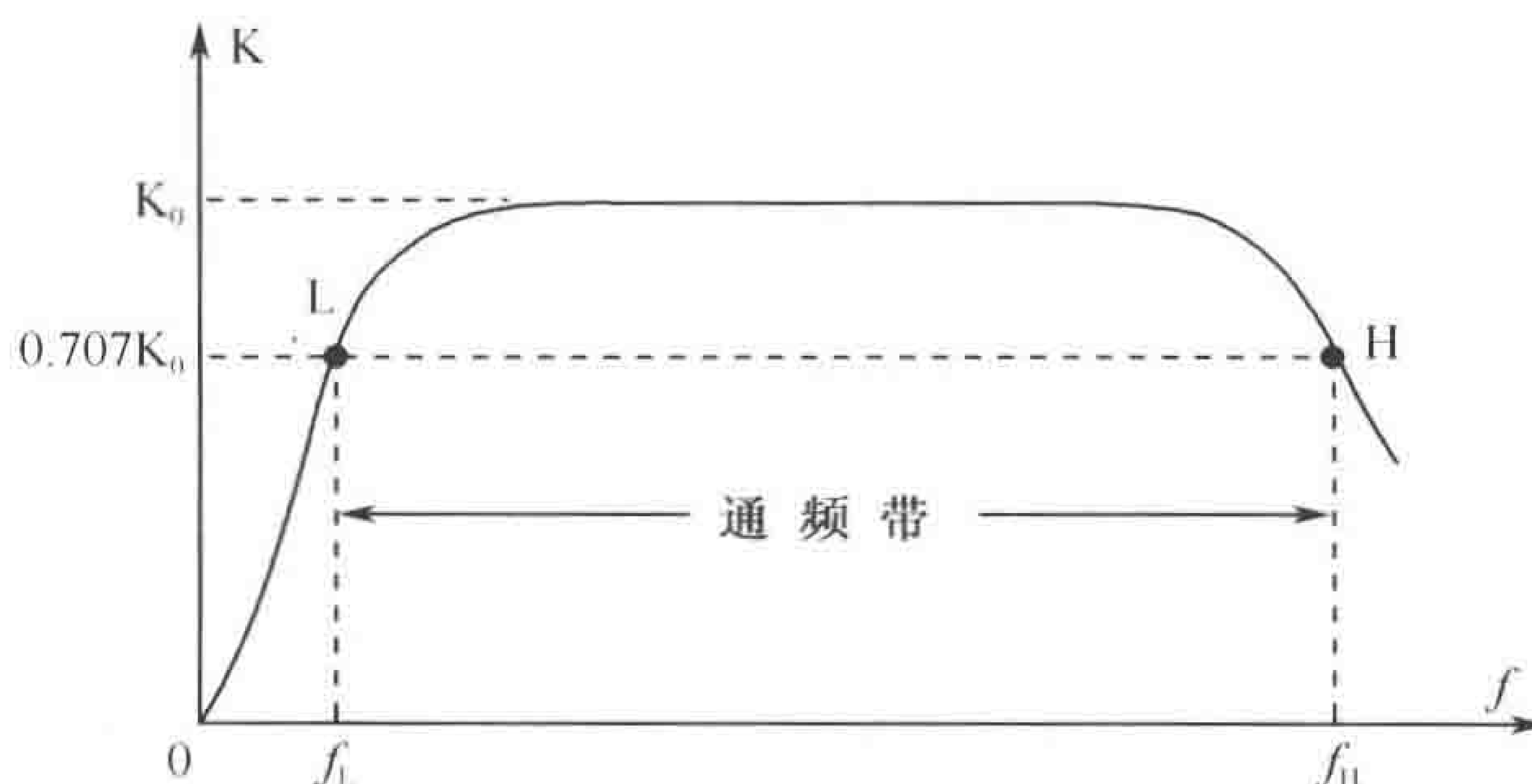


图 2-1-13 放大器的幅频特性

显示可不失真放大的信号的频率范围

四、显示和记录装置

在生理学实验中，各种生理现象均需要进行记录，以便观察和测量。经典的记录装置是使用示波器与示波照相机或生理记录仪对直接、间接的生物电信号进行观察和记录。

1. 示波器

电子示波器的核心部分是阴极射线示波管，它通过一束投射到示波管荧光屏上的电子流，在荧光屏上从左至右显现出或描绘出一幅电位差（垂直轴 y）对时间（水平轴 x）的曲线图。由于电子流的惰性基本上为零，所以能够得到电位快速变化的曲线图。对于上升时间很快的神经和肌肉动作电位，电子示波器也能不失真地显示出来。使用示波照相机可将结果进行拍摄记录。

2. 生理记录仪

生理记录仪是能将电或非电生理信号以波形形式显示和记录的仪器。机体的生理活动有各种表现，有些是体内产生的电位变化，如脑电、心电、肌电，可以用电极直接测量描记；有些是位移、压力或排泄等其他变化，如肌肉收缩、血管搏动、血压波动、尿液分泌等，通过换能器转变为电量后也可以测量描记。生理记录仪包括以下部分：①输入选择部分（前级放大器）；②信号放大部分（后级放大器）；③显示和描记部分。

五、生物信号的计算机采集

在现代电子技术和计算机技术快速发展的今天，实验仪器的微机化、数字化、智能化是仪器的发展趋势。这就是应用大规模集成电路以及计算机硬件和软件技术开发的一种集生物信号的放大、采集、显示、处理、储存和分析的机电一体化仪器。这种仪器一般可替代传统的示波器、生物信号放大器、记录仪和刺激器，一机多用，功能强大，可用于生理学、病理生理学和药理学实验的生物信号检测、记录和分析。

具备数字信号采集与处理的电脑取代了传统的多导生理记录仪等仪器设备。计算机通过专用的生理信号采集处理系统软件接收从生物信号放大、采集卡传入的数字信号，然后对这些收到的信号进行实时处理，一方面进行生物机能波形的显示，一方面进行生物机能信号的存储。另外，它还要根据使用者的命令对数据进行指定的处理和分析，比如平滑滤波、微积分、频谱分析等。对于存贮在计算机内部的实验数据，生物机能实验系统软件可以随时将其调出进行观察和分析，还可以将重要的实验波形和分析数据进行打印。

1. 生理信号采集处理系统工作原理

生理信号采集处理系统的基本工作原理如图 2-1-14 所示。硬件主要完成对各种生物电信号（如心电、肌电、脑电）与非电生物信号（如血压、张力、呼吸）的调理、放大，并进而对信号进行模/数（D/A）转换，使之进入计算机。软件主要用来对已经数字化的生物信号进行显示、记录、存储、处理及打印输出，同时对系统各部分进行控制，与操作者进行人机对话。

电子系统中用来连接数字部件与模拟部件的信息转换装置以及用以实现数字信号和

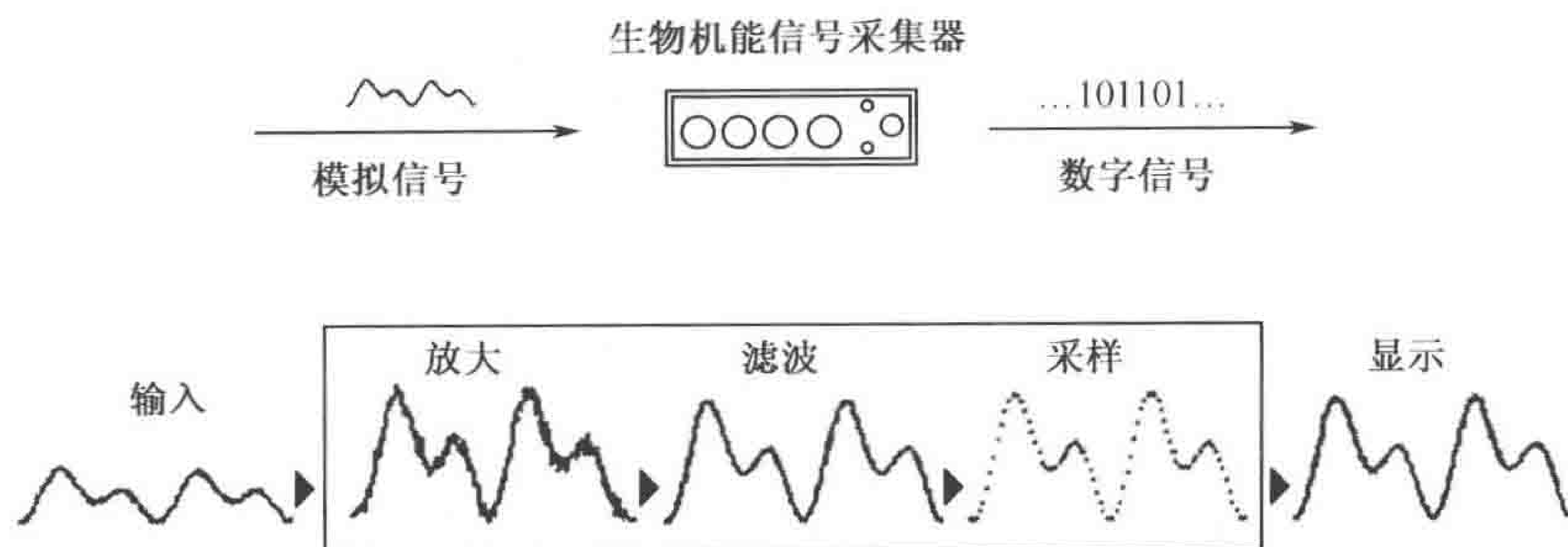


图 2-1-14　生物信号采集处理系统的工作基本原理

模拟信号的相互转换的装置，统称为数据转换器，包括模/数（A/D）转换器、数/模（D/A）转换器。数据转换器用途很多，数字技术和微处理机在信息处理、测量、通讯和自动控制系统等领域里的广泛应用需要信息转换技术，因此数据转换器已成为电子系统的关键构件之一。计算机系统的模数转换也称为采样（图 2-1-15）。

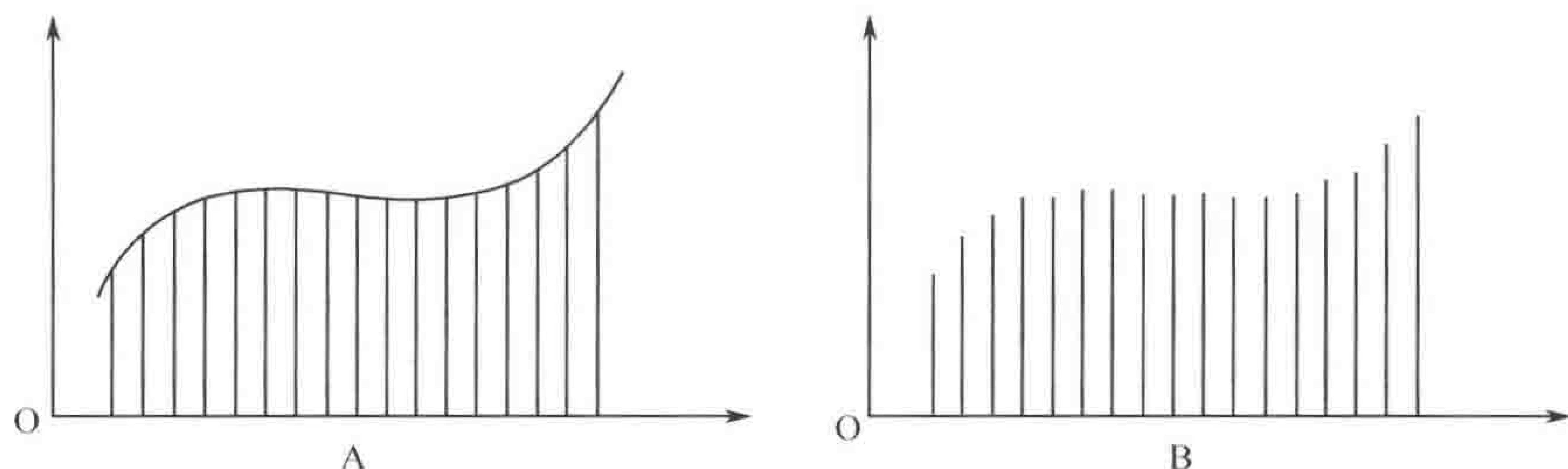


图 2-1-15　计算机采样转换示意图

A. 示连续函数曲线；B. 示采集的代表值

2. 生理信号采集处理系统使用注意

在使用生物信号显示与处理软件完成生理学实验的时候，需要对以下几方面的问题加以注意：

（1）由于生理信号采集处理系统是一个实时的数据采集与处理系统，因此，在其工作时，最好不要使用其他的 Windows 应用软件，以免占用处理器的有效时间，使正处于数据采集的系统出现问题。

（2）正在进行数据采样与处理时，不要用太长的时间去移动主界面中的其他对话框窗口，如设置刺激器参数对话框，因为在移动这些对话框的同时，将全部占用处理器的时间，造成采样数据丢失或出现其他问题。以上两条，在系统暂停数据采集和显示时将不存在任何问题。

（3）正在进行数据采样与处理时，最好不要启动其他实时监视程序，比如实时病毒监视程序。

（4）正在进行数据采样与处理时，不要使用屏幕保护程序、高级电源管理程序，比如硬盘关闭程序等。

第二节　RM6240 多道生理信号采集处理系统

一、软件界面概述

RM6240 软件窗口界面如图 2-2-1 所示，可分为 6 个功能区：菜单条、工具栏、参数设置区、数据显示区、标尺及处理区和刺激器。

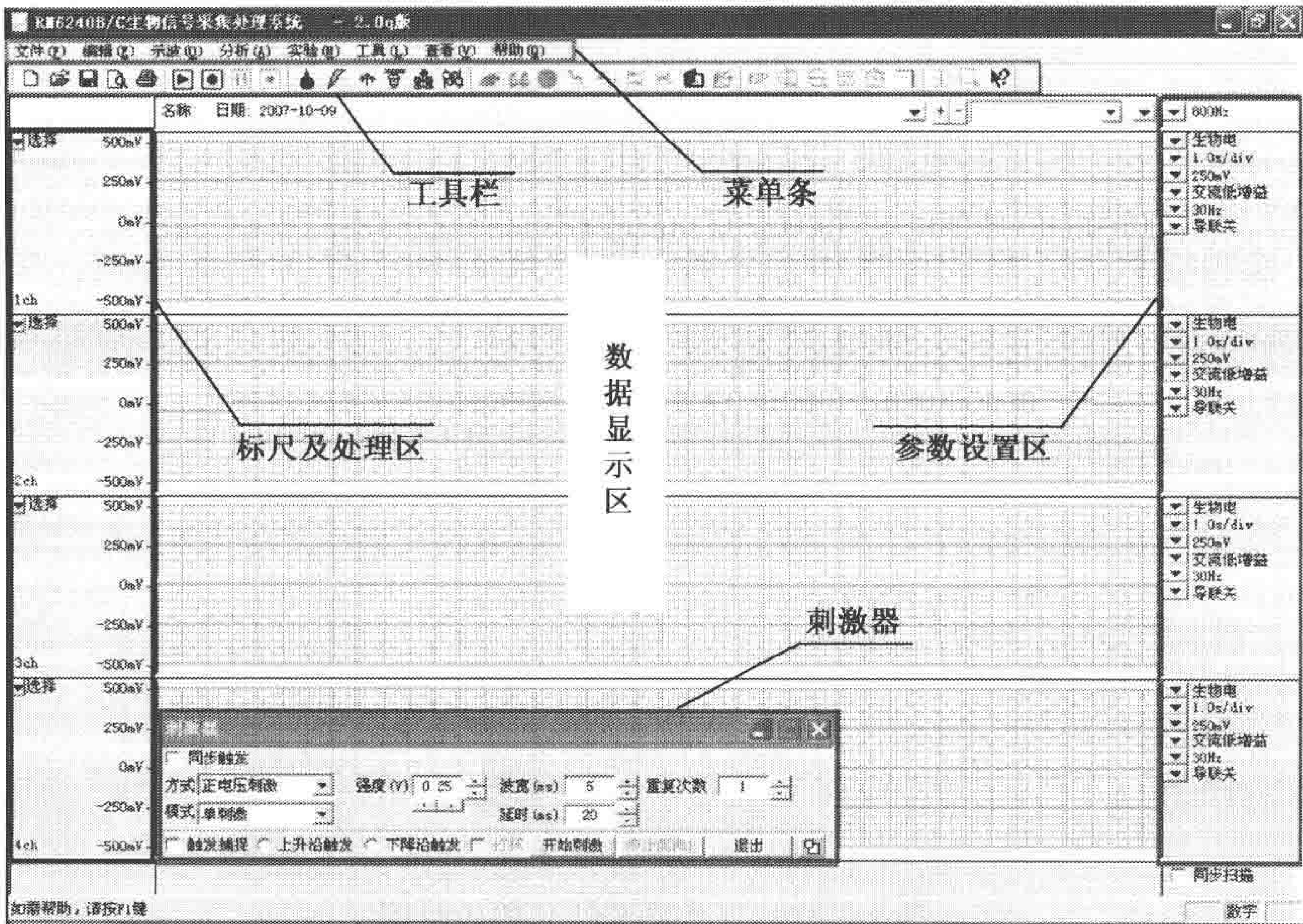


图 2-2-1　RM6240 系统软件窗

菜单条　显示顶层菜单项，选择其中的一项即可弹出其子菜单。

工具栏　工具栏的位置在菜单条的下方，工具栏提供了仪器所具有的基本功能的快捷按钮。工具栏如图 2-2-2 所示。

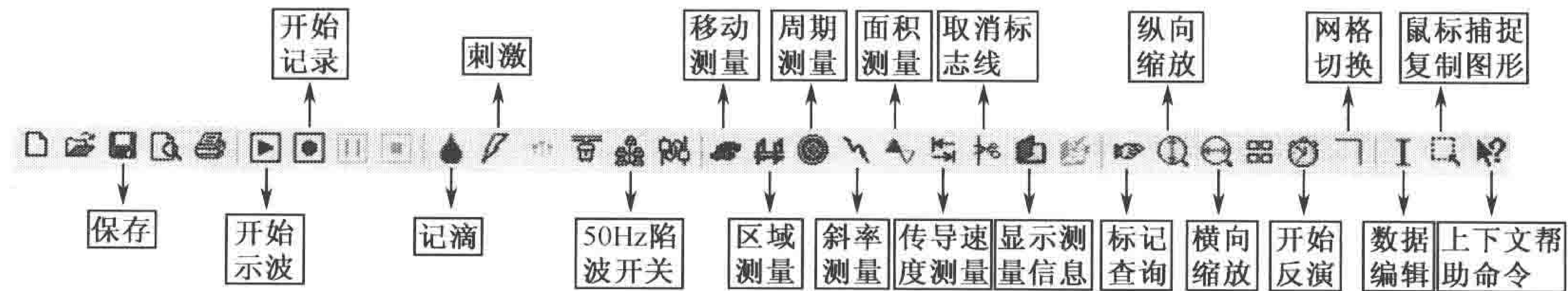
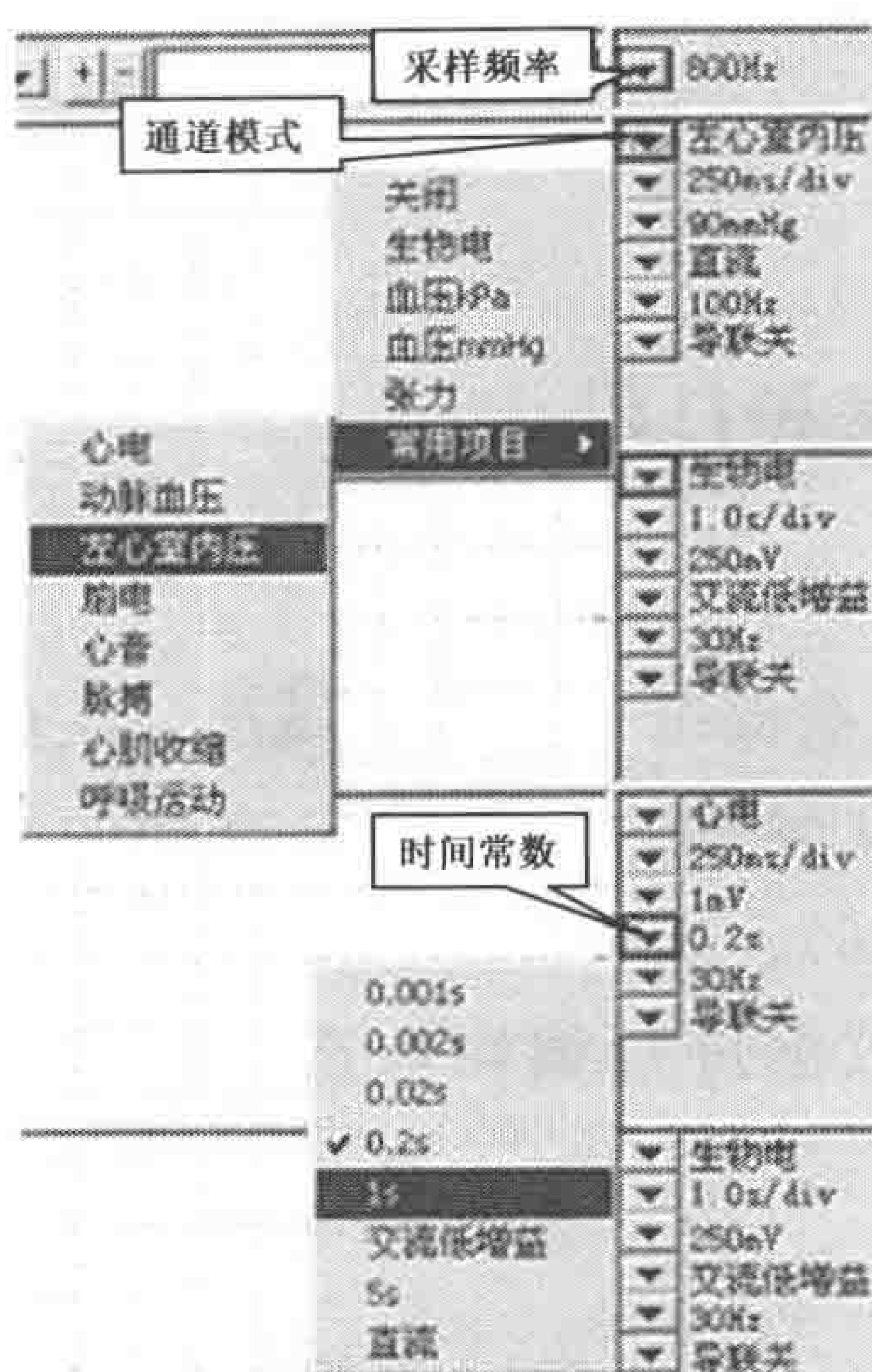


图 2-2-2　工具栏

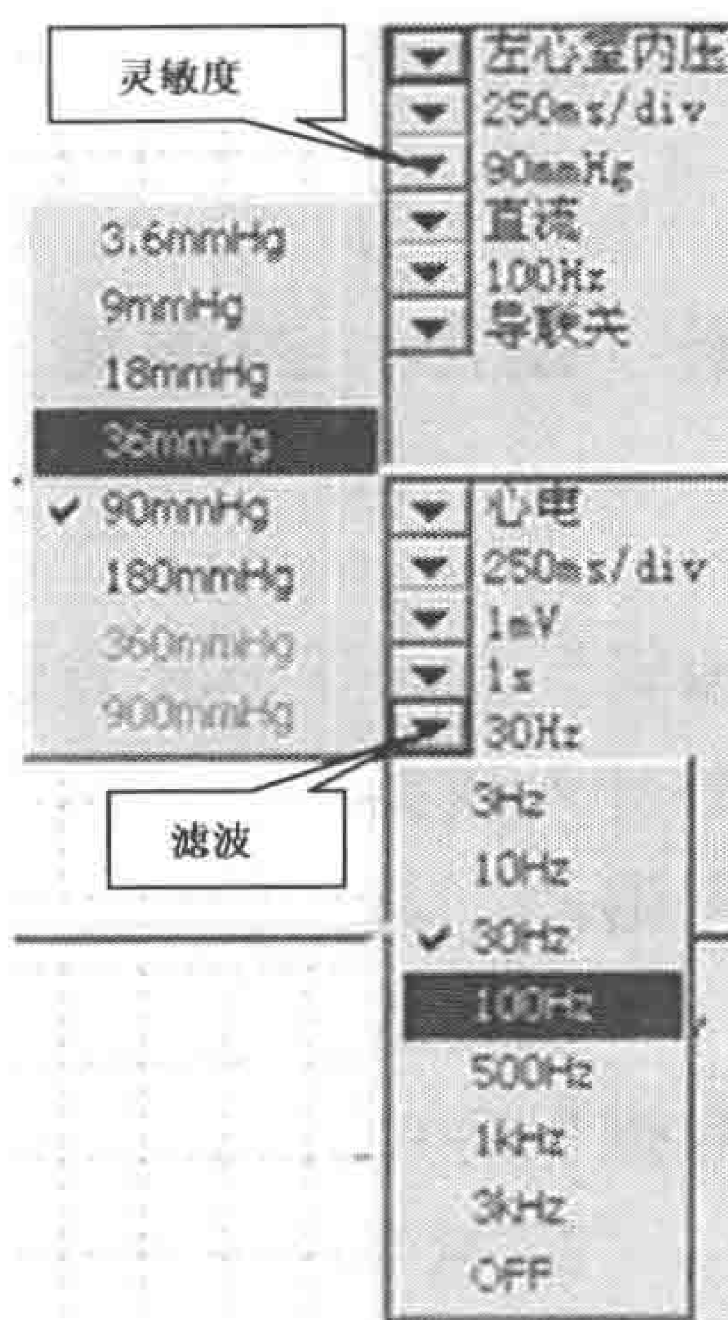
参数设置区　位于窗口的右侧，有“采样频率”及各通道的“通道模式”、“灵敏度”、“时间常数”、“滤波”、“扫描速度”等功能键，选择各功能键可调节各通道的参数（图 2-2-3）。

数据显示区　实验数据以波形显示于该区域内。

标尺及处理区　该区显示各通道的通道号及对应信号量纲的标尺。鼠标点击“选择”按钮，弹出菜单中有对应通道定标、标记显示、分析测量、数据处理等功能的选项（图 2-2-4）。



通道模式和时间常数设置



灵敏度和滤波设置

图 2-2-3　参数设置区

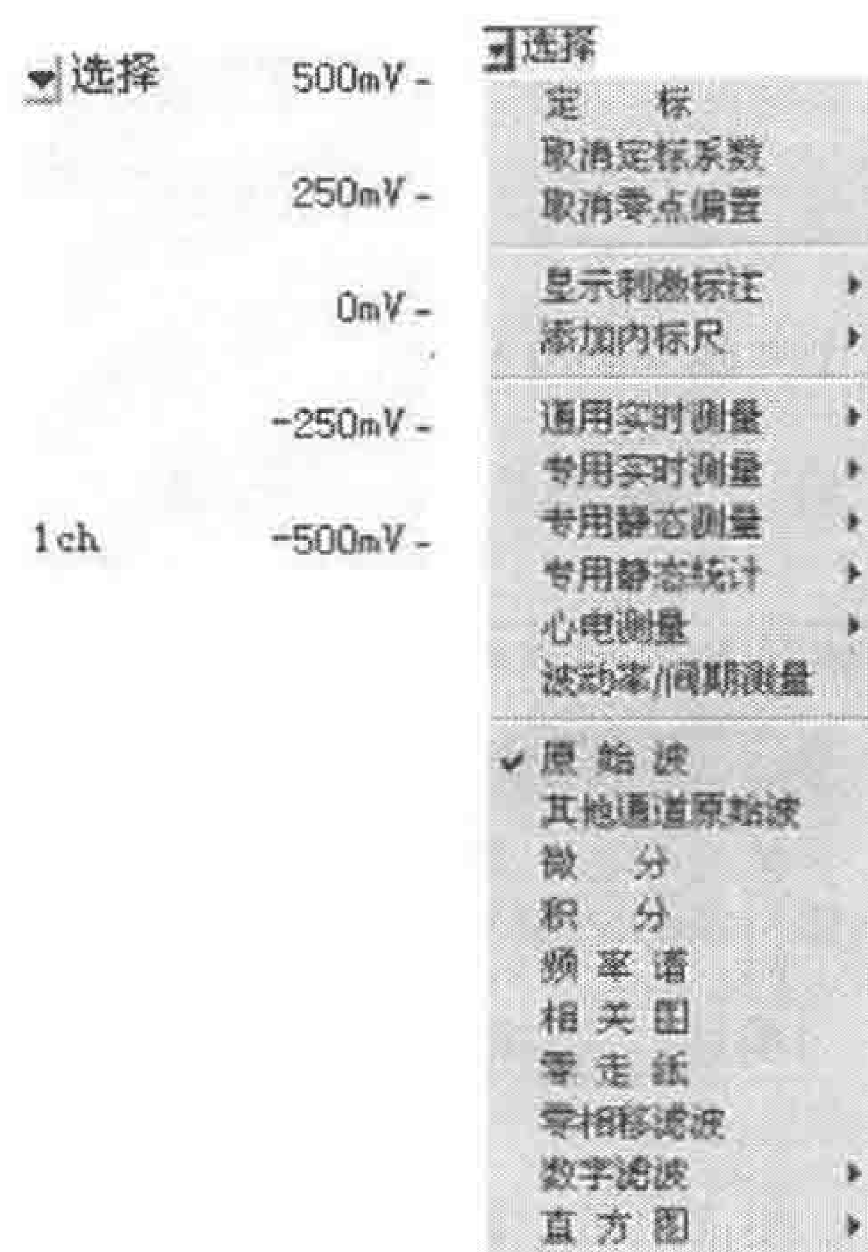


图 2-2-4　标尺及处理区

刺激器　程控刺激器为一弹出式浮动窗口，该刺激器可满足各种实验刺激的需要。

需要对实验对象进行刺激时，可打开刺激器（图 2-2-5），选择刺激方式，调节刺激参数。设置完成后，启动“刺激”按钮，刺激器按设定的刺激方式和刺激参数输出刺激脉冲。

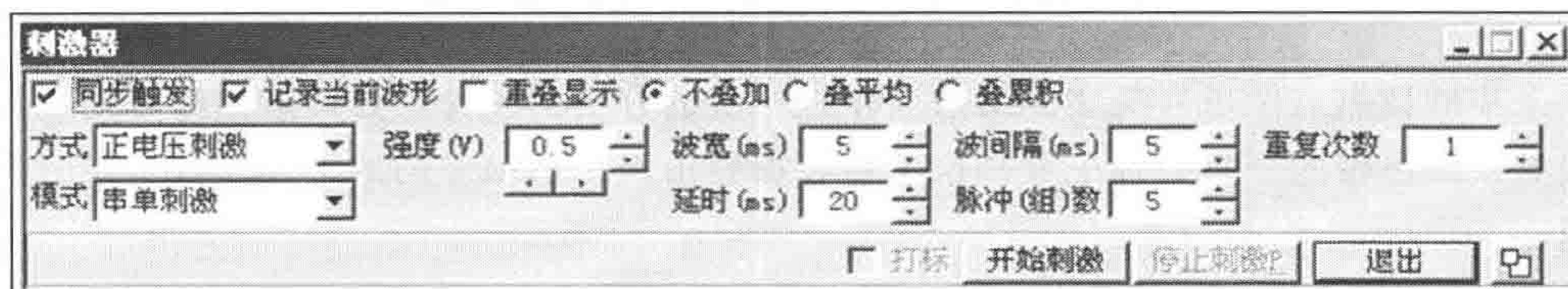


图 2-2-5　刺激器窗口

二、实验过程中的信号（数据）采集

（1）开始实验的途径。开始实验有两条途径：

1）如要做的实验在“实验”菜单内有，则鼠标单击菜单条的“实验”菜单项，弹出下拉式菜单，移动鼠标，选定实验系统及内容后，用鼠标左键点击该项，系统自动进入已设置基本参数的该实验示波环境状态。

2）如要做的实验在“实验”菜单内没有，则鼠标单击参数设置区的“通道模式”菜单项，弹出下拉式菜单，移动鼠标，选定输入信号类型并单击该项。如需选多通道输入，则重复以上步骤。

（2）参数调节：根据被观察的信号大小，调节参数设置区的“灵敏度”按钮，使曲线幅度适宜；根据被观察曲线的疏密、有无干扰，分别调节“扫描速度”和“时间常

数”、“滤波”或“50Hz 陷波”。若记录的曲线偏离基线，可用工具菜单中的“快速归零”进行调零。

（3）电刺激：根据实验需要调整刺激参数。

（4）做好标记。

三、采集数据（图形）的编辑、存盘和打印

1. 数据的编辑

在“编辑”菜单选择“数据编辑”或在工具栏点击“数据编辑”工具“”，系统即进入数据编辑状态，并在屏幕右上角弹出浮动的数据编辑工具小窗口（图 2-2-6）。

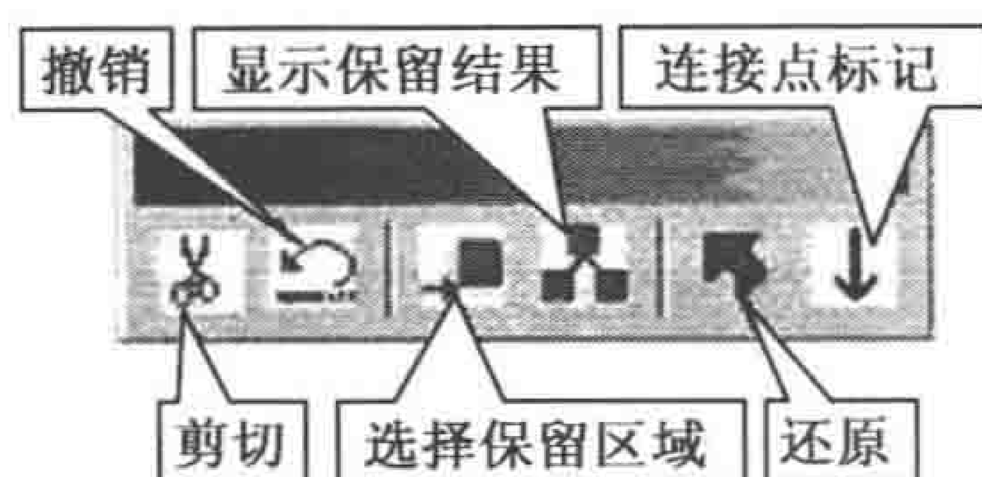


图 2-2-6　数据编辑工具

根据需要对记录到的数据进行编辑，选取合适的数据保存或输出。

2. 数据存盘

用“保存”或“另存为”命令将记录的数据或经过处理的数据保存到当前路径的文件名或指定路径的文件名。

3. 数据打印

在“打印模式设置”框中设置需要打印的通道、数据打印范围和相同数据的打印份数等，预览确认后，将数据输出到打印机进行打印。

四、数据的处理

采集的数据（图形）等实验结果应作进一步的分析、统计，处理数据时可使用计算机采集系统自带的分析处理工具，也可将数据导出，再运用专门的工具软件进行分析和处理。

五、菜单中重要的命令项

1. 文件菜单中重要的命令项

打印模式设置、当前屏幕输出（图 2-2-7）。

（1）打印模式设置（图 2-2-8）。

（2）当前屏图像输出：将当前屏波形和各通道的参数设置区、标尺及处理区图像，按 BMP（24 位）格式输出到 Word 中。

2. 分析菜单中重要的命令项

开始反演、鼠标捕捉、显示测量信息（图 2-2-9）。

（1）开始反演（工具按钮：）：开始自动重复反演当前实验所记录的波形。

（2）鼠标捕捉（工具按钮：）：该功能主要用于确定一个图形区域，并将该区域的图形复制下来。使用时，在欲复制的波形左上角单击鼠标左键，然后松开鼠标，在欲复制的波形右下角再单击鼠标左键，即可复制选取的波形。此后可在 Word 文档或波形

图板用粘贴功能粘贴该波形。

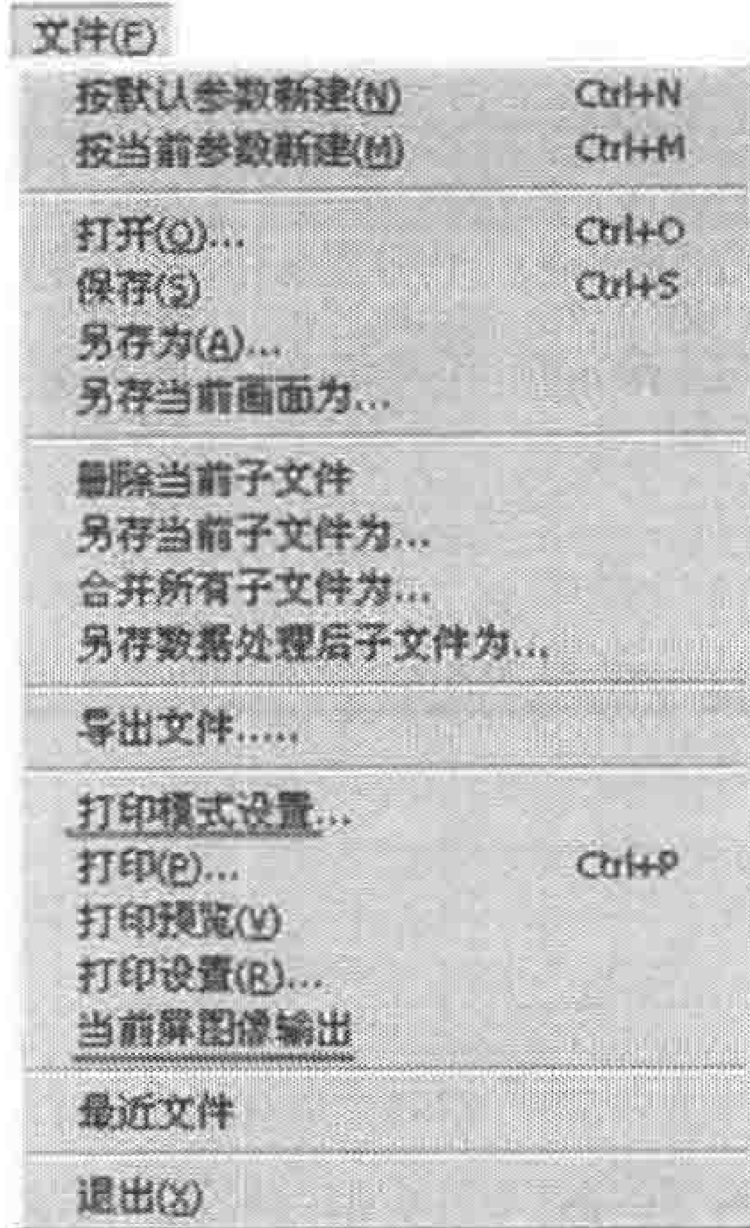


图 2-2-7 文件菜单中重要的命令项

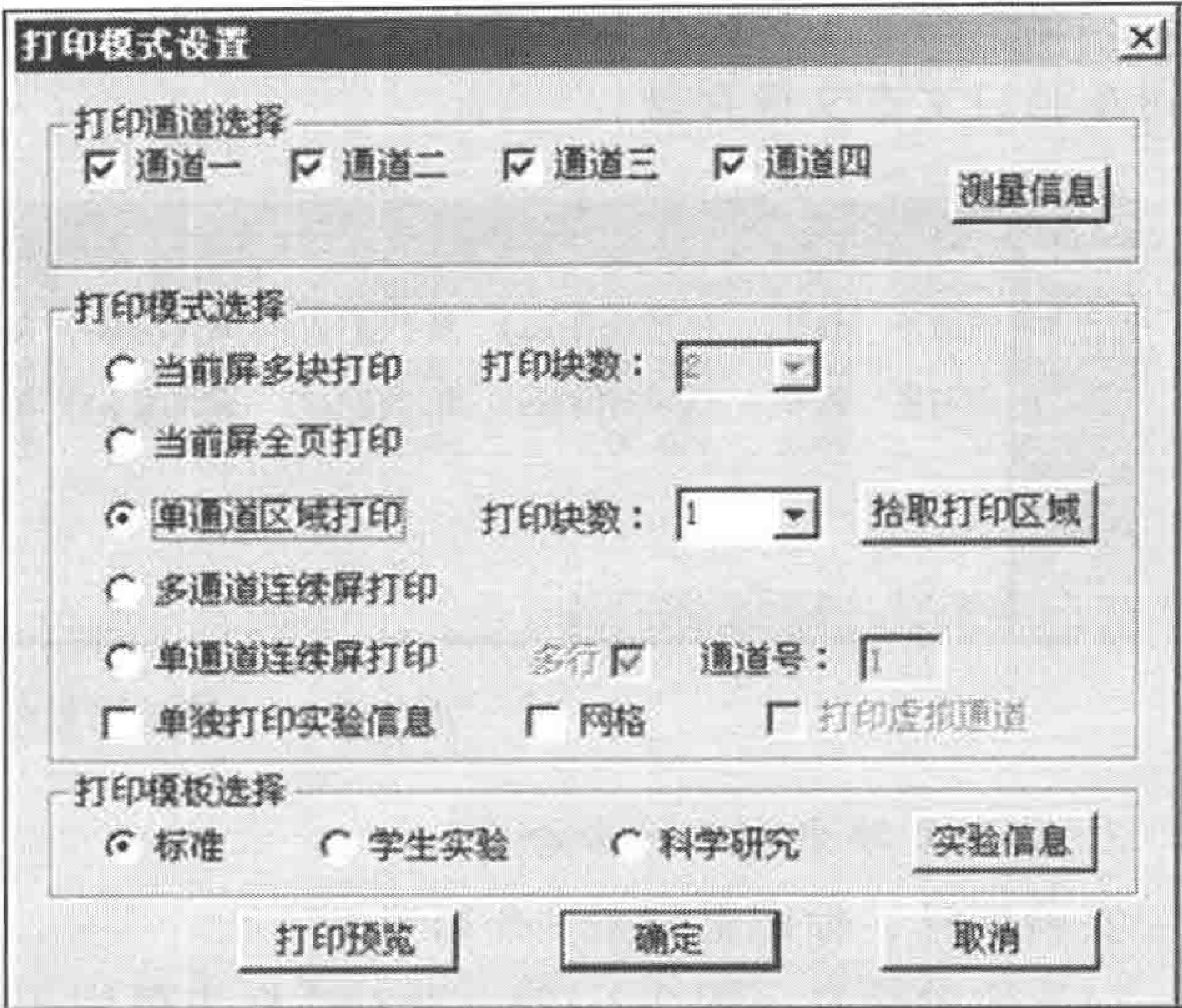


图 2-2-8 打印模式设置

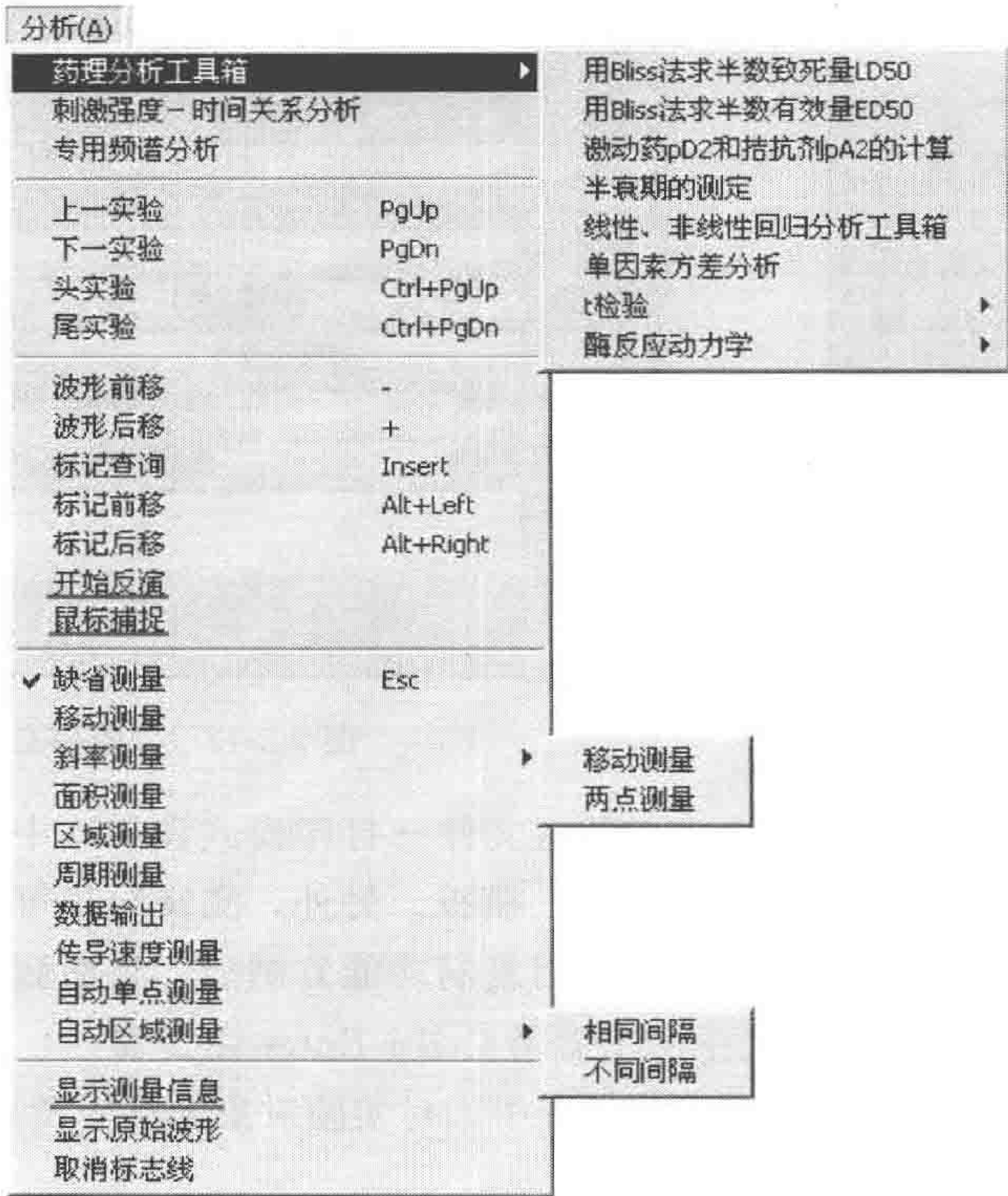


图 2-2-9 分析菜单中重要命令项

（3）显示测量信息（工具按钮：）：测量数据显示框可通过点击工具按钮：关闭或打开数据板（图 2-2-10）。

测量数据显示框用于显示测量数据，同时也可以在此框中增删文字，做实验笔记，并可单独以文本文件存盘。

数据板...

COL(1)	COL(2)	COL(3)	COL(4)	COL(5)	COL(6)	COL(7)	COL(8)	COL(9)
通道号	编号	区域时间(ms)	最小值(mV)	最大值(mV)	峰峰值(mV)	均方根(mV)	平均值(mV)	两点差(mV)
(1)	Q827	650.00	-2.44	4.27	6.72	1.82	1.049	-0.611
通道号	编号	区域时间(ms)	最小值(mV)	最大值(mV)	峰峰值(mV)	均方根(mV)	平均值(mV)	两点差(mV)
(2)	Q801	950.00	-3.05	4.89	7.94	2.13	1.620	-0.611

图 2-2-10　显示测量信息

3. 实验菜单中重要的命令项

实验信息、标记组（图 2-2-11）。

（1）实验信息（图 2-2-12）：此对话框主要用于输入用户信息，这些信息将附加在实验报告中供打印输出。

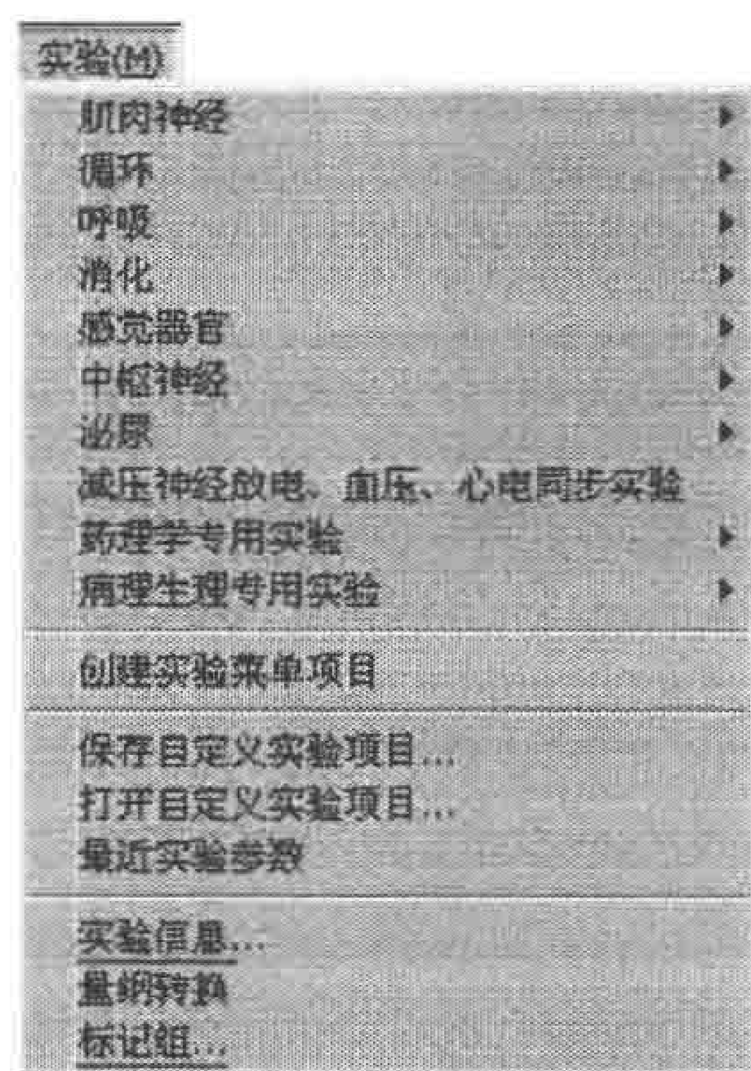


图 2-2-11　实验菜单中重要命令项

图 2-2-12　实验信息

“学生信息”针对“打印模板选择”（文件→打印模式设置）中的“学生实验”使用；“研究机构信息”则针对“科学研究”模板。另外，测量结果可利用数据板导出到“实验信息”的“实验评注”栏，也可利用复制功能复制后，粘贴到本对话框的实验评注栏中。需要注意，实验评注栏中回车需用 Ctrl＋Enter 键实现。

（2）标记组（图 2-2-13）：在实验过程中，对实验对象的反应及各种处理进行标注，有利于准确的进行实验数据的整理。

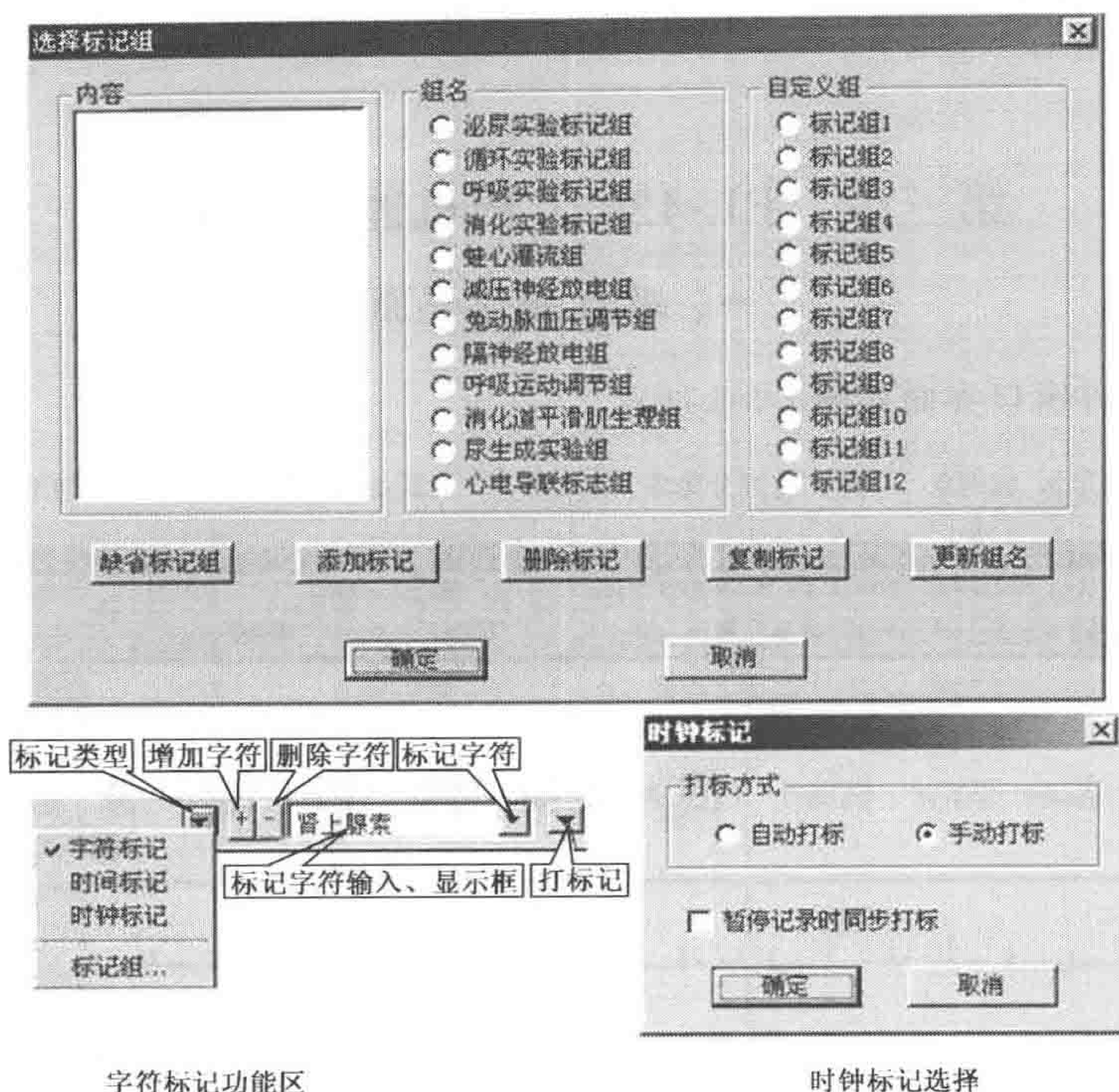


图 2-2-13　标记组

4. 工具菜单中重要的命令项

零点偏移、快速归零、波形图板、启动实时存盘与数据恢复（图 2-2-14）。

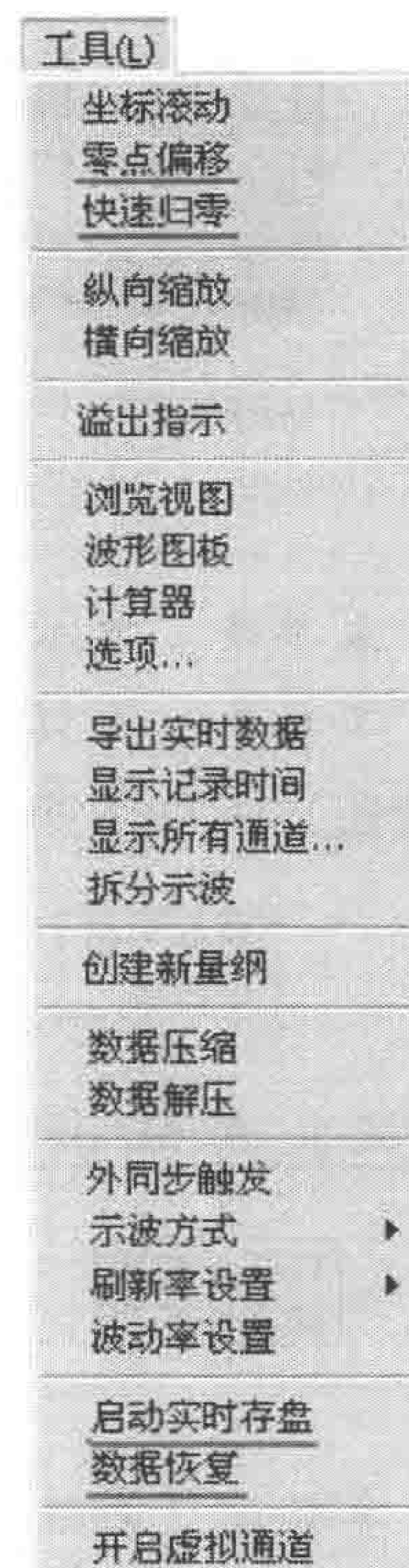


图 2-2-14　工具菜单中重要命令项

（1）零点偏移：用于通道的零点调节。其正负调零范围最好不要超过放大器当前灵敏度档的范围（即垂直方向±1 大格），否则将影响放大器的动态范围，如果零点偏移太多，应调节换能器本身的零位。

（2）快速归零：当波形输出为直流档时，如果此时选择快速归零功能，系统将记下此时的波值，以后的波形都将减去记下的这个波值。

（3）波形图板：打开波形图板，可对所选的波形，进行各种图形处理。例如，可对波形进行剪切、删除、粘贴等处理。同时此图形还可通过粘贴方式，粘贴到 Word 文档中，以供实验报告使用。

（4）启动实时存盘与数据恢复：在记录前点击工具栏中的“启动实时存盘”项，即可随时保存结果。若遇到记录过程停电，重新开机后，运行程序会提示，上次记录是在非正常情况下中止的，请恢复波形。点击“确定”按钮后，选择“工具”菜单中的“数据恢复”项，然后点击“保存”按钮，输入文件名，停电前的实验结果即可恢复，并保存为一个新的文件。查看恢复的文件

时，应先点击“刷新”按钮，或退出界面后重新进入；再点击“打开”按钮，打开已保存的文件。

第三节　BL-420 生物机能实验系统

一、软件操作界面

BL-420 软件窗口界面如图 2-3-1 所示。

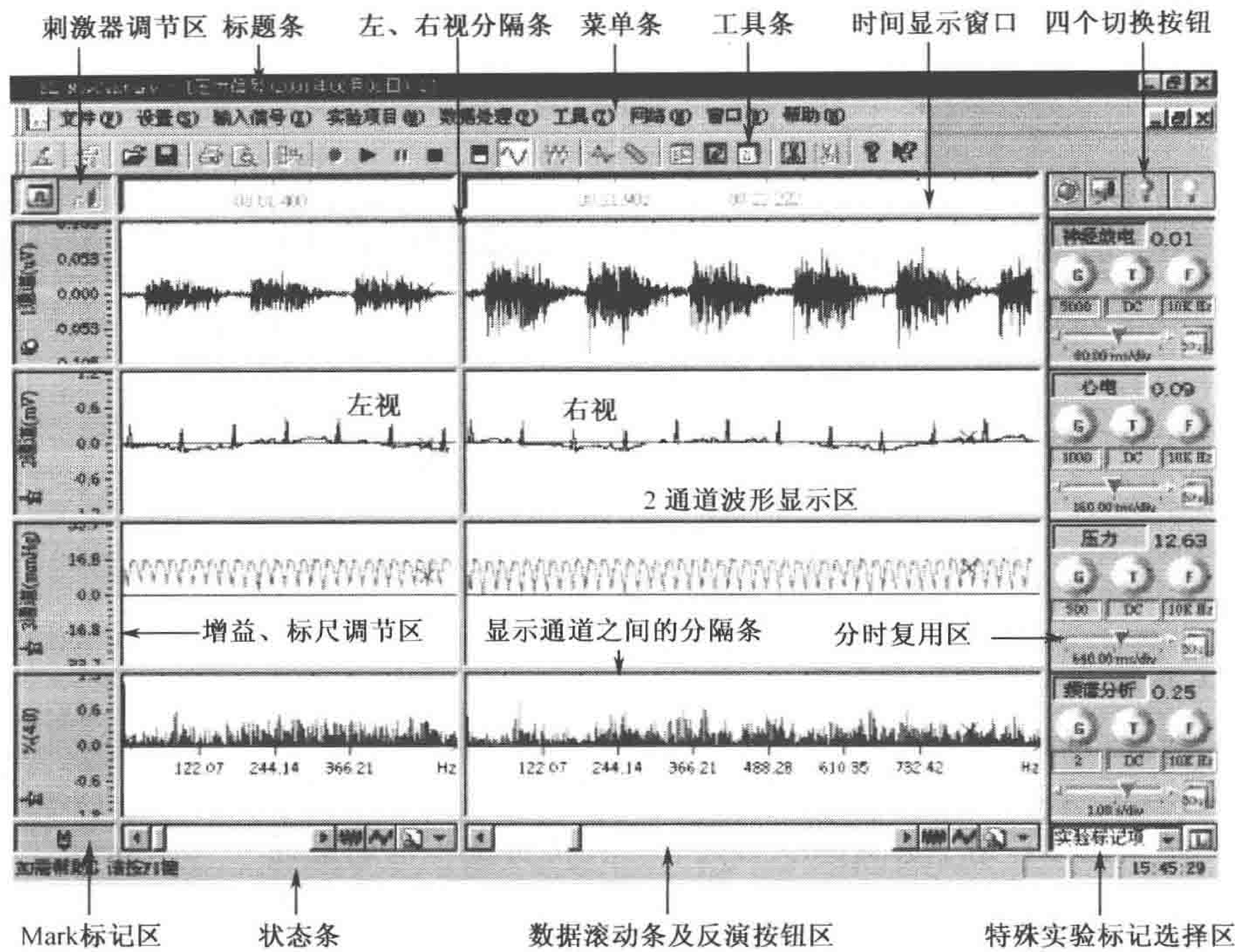


图 2-3-1　BL-NewCentury 生物信号显示与处理软件主界面

菜单条　显示顶层菜单项，选择其中的一项即可弹出其子菜单。

工具条　工具条的位置在菜单条的下方，工具条提供了仪器所具有的基本功能的快捷按钮。工具条如图 2-3-2 所示。

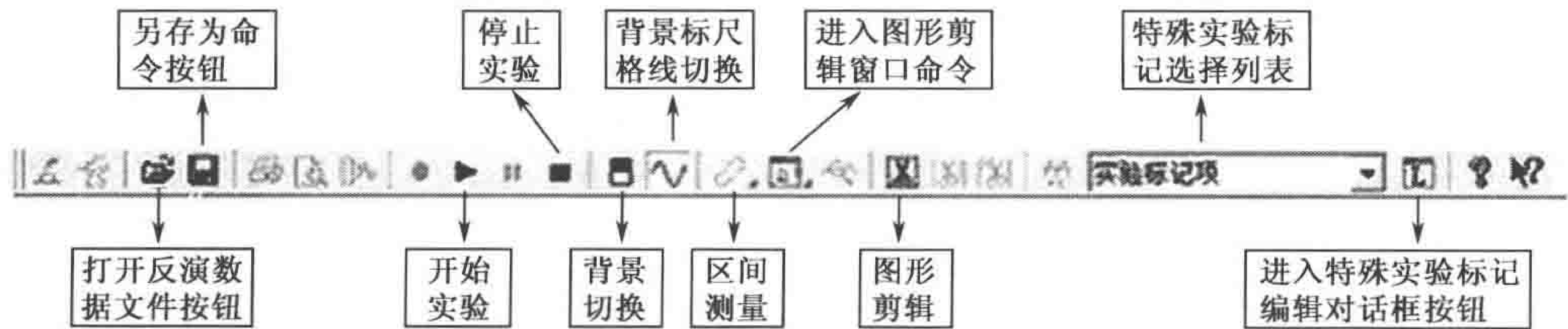


图 2-3-2　工具条

参数设置面板　位于窗口的右侧，有“采样频率”及各通道的“通道模式”、“灵敏度”、“时间常数”、“滤波”、“扫描速度”等功能键，选择各功能键可调节各通道的参数（图 2-3-3）。

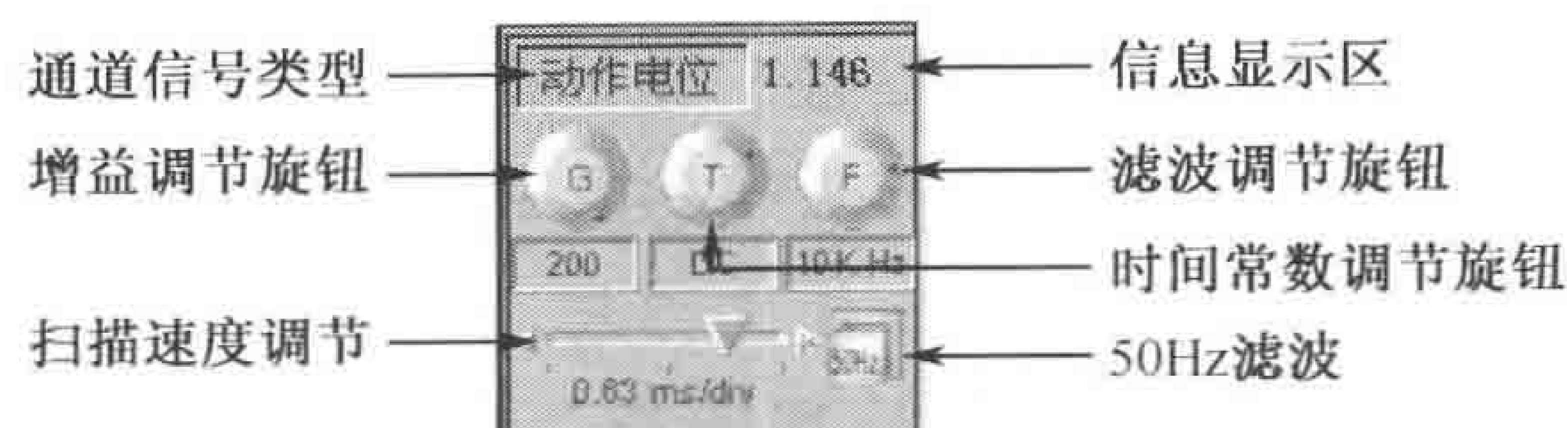


图 2-3-3　参数设置面板

数据显示区　实验数据以波形显示于该区域内。

刺激器调节区（图 2-3-4）

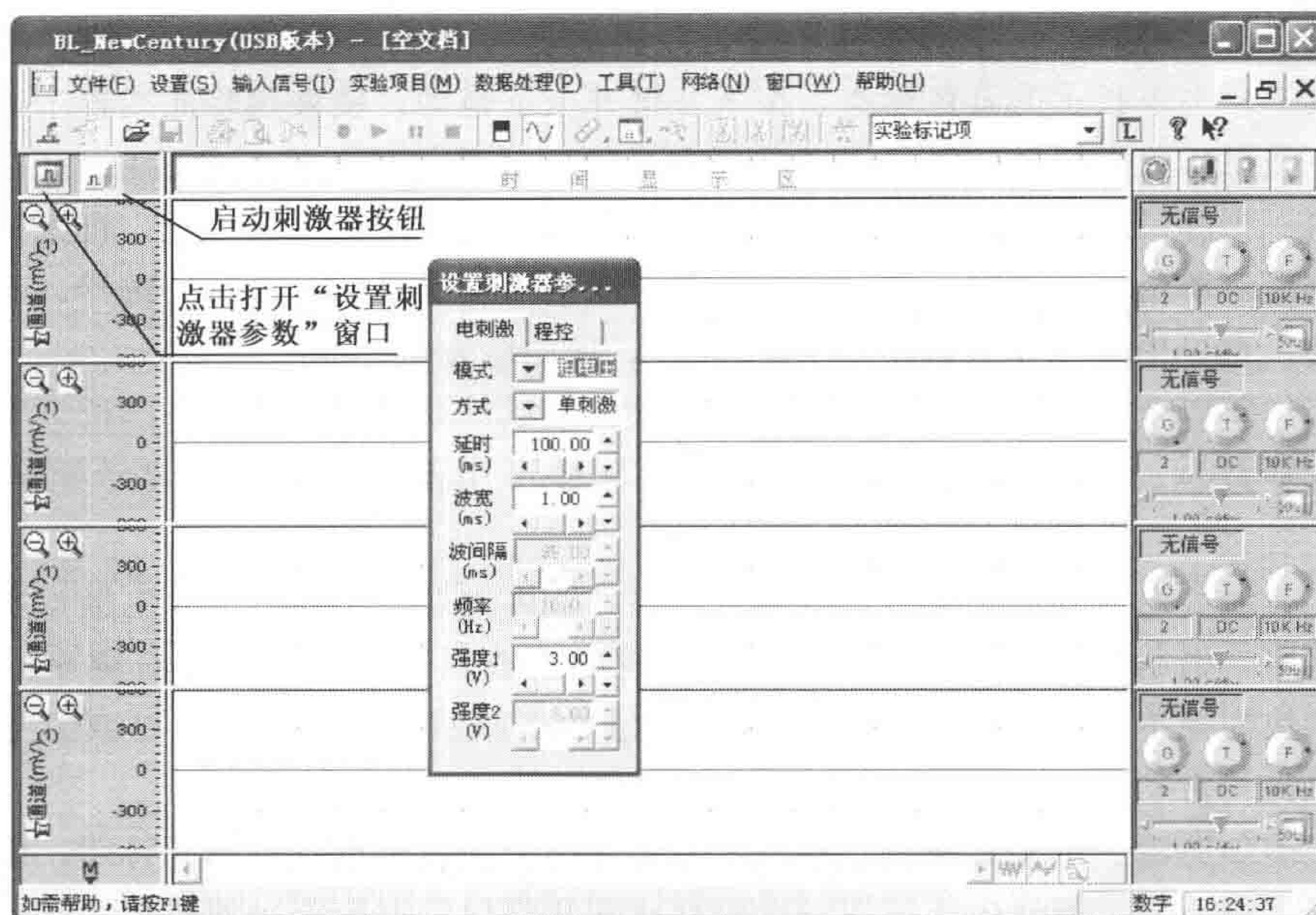


图 2-3-4　刺激器调节区

二、操作步骤

（1）开机：只有当计算机各接口连线连接完毕后，才能开机。

（2）启动程序：在 Windows 桌面或程序菜单，鼠标左键双击 BL-420 生物机能实验系统快捷图标。进入 BL-NewCentury 软件主界面（图 2-3-1）。

（3）开始实验的途径。

开始实验有两条途径：

1）如要做的实验在“实验项目”菜单内有，则鼠标单击菜单条的“实验项目”菜单项，弹出下拉式菜单，移动鼠标，选定实验系统及内容后，用鼠标左键单击该项，系统将自动进入已设置基本参数的该实验记录存盘状态。

2）如要做的实验在“实验项目”菜单内没有，则鼠标单击菜单条的“输入信号”菜单项，弹出下拉式菜单，选定通道及输入信号类型。如需选多通道输入，则重复以上步骤。各通道参数将根据实验内容自动设置完成。然后单击“开始”按钮，系统进入实

验记录存盘状态。

（4）记录存盘：不论是通过“实验项目”菜单还是通过“输入信号”菜单进入实验状态，系统默认进入实验即已处于记录存盘状态。开始实验后，若实验曲线不理想可用鼠标单击工具条上的“数据记录”按钮，使之弹起，处于观察状态。这样可以减少文件容量，便于文件反演剪辑时查找有用的数据图形。经过参数调节待实验曲线达到要求后，用鼠标再次单击“数据记录”按钮，开始正式记录存盘。

（5）参数调节：根据被观察的信号大小，调节控制参数调节区的“增益”按钮（单击左键放大倍数增大，单击右键反之，时间常数、滤波按钮用法相同），使曲线幅度适宜；根据被观察曲线的疏密、有无干扰，分别调节“扫描速度”和“时间常数”、“高频滤波”或“50Hz 滤波”。移动光标至通道左边的标尺基线（即“0.0”）处，此时，光标会变成一个上下指示的蓝色箭头，按下左键并上下拖动，使被观察曲线置于通道的最佳位置。将鼠标光标移动到显示通道屏幕左缘的标尺单位显示区，然后单击鼠标右键，将会弹出一个标尺选择快捷菜单，可根据实验需要任意选择标尺的单位。将光标移至通道任意位置，单击鼠标右键，弹出快捷菜单，取消“基线显示开关”的选择，避免对曲线的影响。也可用同样方法选择“平滑滤波”，使曲线光滑。

（6）如要以全屏方式显示某通道信号，只需用鼠标双击该通道任一部位，即完成单通道的全屏显示。如要恢复原单通道显示，同样可用鼠标双击全屏显示通道的任一部位。

（7）在做心电或其他生物电引导的过程中，若因更换传感器、引导电极松脱、接触不良等原因，引起被测信号偏离显示通道，将电极放置好后，用鼠标右键单击显示通道，弹出快捷菜单，左键单击“自动回零”，信号立即回到正常位置，可减少等待的时间。若单击“自动回零”无效，需要重新“调零”。

（8）图形剪辑。做完实验后，需将实验记录结果和数据进行剪辑和打印。图形剪辑就是指将从通道显示窗口中选择的一段波形连同从这段波形中测出的数据一起以图形的方式发送到 Windows 操作系统的一个公共数据区内，以后可以将这些图形粘贴到 BL-NewCentury 软件的剪辑窗口中或任何可以显示图形的 Windows 应用软件如 Word、Excel 或画图中，方法是选择这些软件“编辑”菜单中的“粘贴”命令即可。图形剪辑的具体操作步骤如下：

1）在实时实验过程或数据反演中，按下“暂停”按钮使实验处于暂停状态，此时，工具条上的图形剪辑按钮处于激活状态，按下该按钮将使系统处于图形剪辑状态；

2）对您感兴趣的一段波形进行区域选择，您可以只选择一个通道的图形或同时选择多个通道的图形；

3）当您进行了区域选择以后，图形剪辑窗口出现，您上一次选择的图形将自动粘贴进入到图形剪辑窗口中；

4）选择图形剪辑窗口右边工具条上的退出按钮退出图形剪辑窗口；

5）重复步骤 1）、2）、3）、4），剪辑其他波形段的图形，然后拼接成一幅整体图形，此时您可以打印或存盘，也可把这张整体图形复制到其他应用程序，如 Word、Excel 中。

第三章　细胞生理

细胞是人体的基本结构和功能单位。人体的一切生理活动都是在细胞中进行的。细胞膜是细胞的屏障，它把细胞内外的物质分隔开，使细胞成为一个相对独立的单位。它还是细胞与其生存环境间发生联系的部位，不仅物质进出细胞必须经过细胞膜，而且一切刺激作为信号也是通过细胞膜进行传递的。进出细胞的物质种类很多，有脂溶性、水溶性的分子和带电荷的离子。细胞膜的基架是脂质双分子层，只有脂溶性的物质才可能通过细胞膜。而水溶性物质不能直接通过细胞膜，它们必须借助某些物质的帮助才能通过，其中细胞膜上的蛋白质起着关键作用。物质跨细胞膜的转运是人体内普遍存在的现象，细胞膜转运物质的形式是多种多样的。单纯扩散和易化扩散是顺浓度差进行的，其扩散的动力来源于物质的浓度差（或电位差）形成的势能，并不需要细胞提供能量，故可称为被动转运。与之相反，主动转运是逆浓度差进行的，必须由细胞提供能量。

实验 3-1　细胞的渗透性和转运机制

【目的要求】

1. 了解渗透性，扩散（简单扩散和渗透作用），等压、低渗和高渗溶液，主动转运，被动转运，批量内吞，吞噬作用，溶质泵等概念。

2. 描述物质跨越细胞膜的运动过程，并了解各运动过程的驱动力。

【原理】

质膜对穿过它的物质具有选择性。它允许营养物质进入细胞，阻止细胞不需要的物质进入。同样地，可利用的细胞蛋白质和其他物质被保留在细胞内，而排泄物或水被运到细胞外，这个性质称为差别性（differential）或选择性（selective）。通过质膜的转运有两条基本的途径，分别为主动转运和被动转运。在主动转运中，细胞消耗能量（ATP）支持运输过程。在被动转运中，浓度或渗透压力差驱动物质运动。

【材料】

载玻片和盖玻片、记号笔、镊子、玻璃棒、量筒、双目显微镜、电炉、大烧杯、深红色染料晶体、培养皿（含 12mL 1.5%琼脂）、3.5% 亚甲基蓝溶液、1.6% 高锰酸钾溶液、毫米尺、滴管、四个透析袋、40%葡萄糖溶液、夹子、10%NaCl 溶液、煮过的淀粉溶液、天平、Benedict 溶液、试管、试管架和试管夹、小漏斗、$AgNO_3$溶液、碘液、纸巾、动物血、生理盐水、1.5%NaCl 溶液、医用滴管、10%漂白溶液、滤纸、铁架台、铁环、滤纸、培养的饥饿的变形虫、培养的四膜虫。

Benedict 溶液的配制：①在 400mL 蒸馏水中溶解 85g 柠檬酸钠和 50g 无水碳酸钠；

②在 50mL 加热的蒸馏水中溶解 8.5g 硫酸铜。把硫酸铜溶液缓缓倒入柠檬酸钠-碳酸钠溶液中，边加边搅拌，如果产生沉淀，要过滤。Benedict 溶液配制后能长期使用（存放时间较久而产生沉淀时，取上层清液使用，不必重新配制）。

【方法与步骤】

1. 被动转运

质膜转运的两种重要的被动过程是扩散作用（diffusion）和滤过作用（filtration）。扩散作用是身体每个细胞的重要运输过程，而滤过作用通常仅仅发生在穿过毛细血管时。在特定的温度下，给定的分子有相同的平均动能。因为动能与质量和速度直接相关，分子越小运动得越快。当分子高速随意运动时，它们互相碰撞，并改变运动方向，这叫做布朗运动。布朗运动是扩散的手段，我们可以通过观察布朗运动了解扩散的过程。

（1）扩散

当浓度梯度存在时，随意分子运动的净作用是使分子最终均匀分散在环境中，这个过程称为扩散。因此，扩散是分子从高浓度区域运动到低浓度区域，运动的驱动力是分子自身的动能。溶质能溶解于细胞膜的脂质双分子层（例如 CO_2 和 O_2），通过浓度差异性通透膜的扩散称为单纯扩散，没有生物学的转运机制参与。许多重要的营养物质如葡萄糖、氨基酸、核苷酸等以及一些离子进出细胞需通过载体或离子通道，这种扩散称为易化扩散。水通过差异性通透膜的单纯扩散又称为渗透作用。单纯扩散和易化扩散都是物质从高浓度区域向低浓度区域运动，也就是说，是沿着浓度梯度运动的。

通过观察分子质量不同的染料在凝胶琼脂中扩散，很容易研究分子质量和扩散速率之间的关系。实验中使用的染料是亚甲基蓝，相对分子质量为 320，呈深蓝色；高锰酸钾，是紫色染料，相对分子质量为 158。虽然凝胶琼脂是固体，但它的主要成分是水(98.5%)，允许染料分子自由地扩散。

项目 1　观察布朗运动

1）用牙签较钝的一端，蘸上不溶于水的深红色染料加入到载玻片上的水滴里，搅动混匀。

2）盖上盖玻片，在高倍镜（40×）下观察，注意运动的方向和速度。

项目 2　观察染料在凝胶琼脂中的扩散作用

1）取一个铺有凝胶琼脂的培养皿、一把毫米尺、一支记号笔、分别装有亚甲基蓝和高锰酸钾的滴瓶、一支滴管。

2）用记号笔在培养皿底部画一条线，将培养皿分成两个部分。

3）用滴管在每个部分的中心打一个孔。

4）在一个孔中小心地填满亚甲基蓝溶液，另一个孔中填满高锰酸钾溶液。记录时间。

5）以 15min 为时间间隔，用毫米尺测量染料从每个孔扩散的距离。持续观察 1.5h，将结果记录在表 3-1-1 中。

表 3-1-1　染料在凝胶琼脂中的扩散作用

时间（min）	亚甲蓝扩散距离/mm	高锰酸钾扩散距离/mm
15		
30		
45		
60		
75		
90		

计算高锰酸钾扩散速率：________ mm/min。

计算亚甲基蓝扩散速率：________ mm/min。

项目 3　观察染料在水中的扩散作用

1）测量染料从量筒底部到测定结束时的扩散距离________ mm。

2）记录操作开始的时间和观察的时间。然后，计算染料在水中扩散的速率。

3）比较染料在水和凝胶琼脂中的扩散速率。

项目 4　观察染料通过非活性膜的扩散作用

1）取四个透析袋、小漏斗、一个 25mL 的量筒、一支记号笔、夹子、四个烧杯（250mL）。用记号笔将烧杯编号为 1～4，除 2 号烧杯，其余的烧杯均装满水；2 号烧杯中加入 40％葡萄糖溶液。透析袋是差异性通透膜，具有特定大小的孔。生物膜的选择性不仅仅依赖于孔的大小，但用透析袋试验可检验依赖于孔大小的选择性。

2）用漏斗向每个透析袋中装入下面指定的液体（表 3-1-2）（约 20mL）。挤压出空气，合拢袋子并用夹子夹住。用纸巾迅速仔细地吸干袋外渗出液，在天平上称重并记录。然后，将袋子放入相应的烧杯中。确定袋子完全浸入烧杯溶液中。透析袋在烧杯中放置 1h。

3）1h 后，将烧杯中的水煮沸。按下列实验步骤确定烧杯中的物质。

4）迅速轻轻地吸干透析袋 1，称重（注意：在吸的过程中不要挤压介质），记录袋 1 的重量。

取两支试管，每支加入 5mL Benedict 溶液。向其中一支试管中加入 4mL 烧杯液体，另一个试管中加入 4mL 透析袋液体。将试管做好标记，然后将它们放入沸水中，煮 2min，慢慢冷却。如果形成绿色、黄色或锈红色沉淀物，检测呈阳性，意味着存在葡萄糖。如果溶液仍是最初的蓝色，检测呈阴性。将结果记录在表 3-1-2 中。

5）轻轻地吸干透析袋 2，称重，记录。

6）轻轻吸干透析袋 3，称重，记录。

取 5mL 烧杯 3 的溶液，放在干净的试管中，加入 1 滴 $AgNO_3$。若出现白色沉淀或悬浮物表明存在 AgCl，这是由 NaCl 和 $AgNO_3$ 反应形成的。将结果记入表 3-1-2 中。

7）轻轻吸干透析袋 4，称重，记录。

取 5mL 烧杯 4 的溶液，加入 2 滴碘液。若出现黑色，则是阳性，表明有淀粉存在。

将结果记入表 3-1-2 中。

表 3-1-2 非活性膜扩散作用的实验数据

烧杯	透析袋（sac）	初始重量/g	终重量/g	重量的变化/g	检测烧杯液体	透析袋液体
烧杯 1：1/2 蒸馏水	20mL 40%葡萄糖溶液				Benedict 溶液	Benedict 溶液
烧杯 2：1/2 40%葡萄糖溶液	20mL 40%葡萄糖溶液					
烧杯 3：1/2 蒸馏水	20mL 10%NaCl 溶液				$AgNO_3$溶液	
烧杯 4：1/2 蒸馏水	20mL 煮沸的淀粉溶液				碘液	

8）上面的实验中哪个发生了“渗透（osmosis）”，哪个发生了“简单扩散（simple diffusion）”？有关葡萄糖、淀粉、NaCl 和水分子的大小关系，你得出了什么结论？

9）细胞的什么结构可以比作透析袋？

项目 5 研究染料通过生物膜的扩散作用

方法 1：

1）在实验台上准备以下实验用品：干净的载玻片和盖玻片、一瓶动物血液、滴管、生理盐水、1.5%NaCl 溶液、三个试管、试管夹、玻璃棒、15mL 量筒、滤纸和塑料手套。

2）标记三个试管：A、B、C，分别加入 A：2mL 生理盐水；B：2mL 1.5%NaCl 溶液；C：2mL 蒸馏水。

3）戴上手套，用滴管吸取 5 滴动物血液至每个试管中。用玻璃棒搅拌每个试管，在样品之间轮流搅拌时应冲洗玻棒。

4）将每个试管放在白纸的前面。记录每个试管的颜色。

方法 2：

1）在载玻片上滴一小滴生理盐水，用滴管加入小滴动物血液至载玻片上的生理盐水中。倾斜载玻片以混匀，用盖玻片盖上，立即用高倍镜检测样品。注意，血红细胞仍然是正常的光滑的形状，因为生理盐水对于细胞是等压的（isotonic），也就是说，生理盐水中非渗透的溶质浓度（如蛋白质和一些离子）等于细胞中的浓度（同样的溶质溶剂比例）。结果，细胞没有通过渗透作用吸水或失水。

2）准备另外的动物血液，但这次是用 1.5%NaCl 溶液作为悬浮介质。5min 后，在高倍镜下仔细观察血红细胞的变化。这个起皱的过程称为皱缩（crenation），因为 1.5%NaCl 溶液对于血红细胞来说是稍微高渗的。一种高渗的（hypertonic）溶液包含了比细胞中更多不通透的溶质。在这样的环境下，通过渗透作用，水趋向于从细胞中流出。

3）加 1 滴蒸馏水至盖玻片的边缘。将滤纸对折，放在盖玻片的另一端；滤纸将吸收 NaCl 溶液，使水覆盖细胞。观察这个区域的血红细胞。5min 后，描述细胞形态的变化。蒸馏水不含溶质（100%的水）。蒸馏水和非常稀的溶液（如含有低

于0.9%非通透物质的溶液）对于细胞来说是低渗的（hypotonic）。在低渗溶液中，血红细胞首先“鼓胀”，然后“消失”。当水涌入细胞内时，血红细胞胀破，称为“溶血（hymolysis）”。

4）清理实验器材并整理实验场所。

（2）滤过作用

滤过作用（filtration）是水和溶质从膜的高液压端到低液压端的过程。与扩散作用一样，是被动过程。例如，液体和溶质滤出肾脏毛细血管及进入肾小管的过程，因为肾脏的血压大于肾小管的液压。滤过作用不是选择性的过程。滤液流量（溶液和溶质）的形成几乎完全依赖于压力梯度（膜两侧压力不同）和膜孔道的大小。

项目6　观察滤过作用

1）准备下列用品：铁架台、铁环和夹子、漏斗、滤纸、烧杯、10mL量筒、含有未煮淀粉、炭粉和硫酸铜的混合溶液、碘液。用夹子将铁环固定在铁架台上 。

2）将滤纸对折两次，打开成锥形，放在漏斗里。把漏斗放在铁环上，下面放置一个烧杯。摇动淀粉溶液，倒入漏斗中，应低于滤纸顶端。当一串液流变成可数的液滴时，在10s内记下液滴数量。

当漏斗半空时，开始数10s内液滴数。隔一段时间再计数，比较不同时期的滤过率。

3）所有液体通过滤纸后，检查滤液和滤纸，看是否有物体残留在滤纸上。注意：如果滤液是蓝色的，说明硫酸铜已经滤过。如果有黑色颗粒，说明有炭粉滤过。

用10mL量筒，取2mL滤液样品到试管中。加入若干滴碘液。当碘液加入时，如果样本变蓝或变黑，说明滤液中存在淀粉。

三种溶质的什么性质决定它们是否能通过滤纸？

2. 主动转运

细胞使用ATP作为能量来运输物质，使其通过细胞膜的屏障，这种方式称为主动转运。通过主动转运的物质一般不能通过扩散作用来运输。它们可能太大而不能通过膜通道，或不是脂溶的，或不得不依赖载体或能量来运输，而不是依赖浓度梯度。有两种主动转运方式：主动运输（active transport）和囊泡转运（vesicular transport）。

（1）主动运输

主动运输需要与运输物质特异性结合的载体蛋白，类似酶-底物相互作用。主动运输可能主要由ATP水解直接驱动，或有相关系统作用于主要运输系统。许多情况下，物质通过可逆浓度或电化学梯度移动或两者兼之。一些物质通过转运子进入细胞，转运子通常称为溶质泵（solute pump），如氨基酸和一些糖类。两种溶质都是非脂溶的，分子太大而不能通过膜通道，但是它们又是细胞生命所必需的。另一方面，钠离子（Na^+）通过主动运输转出细胞。细胞外的Na^+浓度高于细胞内，因此Na^+趋向于留在细胞内，除非通过主动运输将它运出细胞。

（2）囊泡运输

大的颗粒和分子通过囊泡运输跨膜转运，可能是胞吞（endocytosis）或胞吐（exocytosis）两种方式。在批量内吞时，细胞膜吞没临近物质形成小泡，然后小泡离开细胞膜进入细胞内。批量内吞是吸收包含蛋白质或脂肪在内的液体最常见的形式。

在吞噬作用（phagocytosis）中，部分质膜和胞质扩张包围相对大的或固体物质（例如，细菌或细胞碎屑），并且吞没它们。这样形成的质膜囊称为吞噬体（phagosome），它与溶酶体融合后，内含物被消化。在人体中，吞噬细胞主要发现于白细胞和巨噬细胞中，担任着清道夫的角色并使身体远离由微生物和癌细胞引起的疾病。

另一种胞吞的选择性方式是借助质膜上的受体，称为受体介导的胞吞作用（receptor-mediated endocytosis）。与吞噬作用利用身体的清道夫细胞不同，这种类型的胞吞作用是选择性的，主要用于细胞吸收特异性分子，如胆固醇、铁和某些激素。

项目 7　观察变形虫的吞噬作用

1）取 1 滴培养的饥饿的大变形虫，放在盖玻片上。加 1 滴培养的梨形四膜虫（*Tetrahymena pyriformis*）到有变形虫的液滴中，然后迅速地轻轻地将盖玻片盖在有凹陷的载玻片上。

2）将载玻片放在低倍镜下观察。视野应尽可能保持暗淡，否则变形虫将蜷成球状，开始破裂。

3）观察变形虫形成伪足吞噬梨形四膜虫。值得一提的是，在单细胞生物体中，如变形虫，吞噬作用是重要的取食机制，但是在高等生物体中，则是一种保护手段。

4）将仪器放回原处，清洗使用过的玻璃器皿。

第四章　神 经 肌 肉

神经和肌肉组织在生理学上被归为“可兴奋性组织”，神经系统对机体各部分活动的调节，就是以神经组织的兴奋性为基础的，而动物与人的躯体活动和内脏活动则是以肌肉组织的兴奋性为基础。兴奋性问题是生理学研究中具有根本意义的问题。本章实验以神经和肌肉两种组织为对象，着重讨论以下问题：①兴奋性与神经传导及肌肉收缩的关系；②兴奋性的变化与生物电现象的关系；③神经肌肉的兴奋传递；④骨骼肌收缩的最基本的力学表现。问题的核心则为两种组织的兴奋与兴奋性。通过本章的实验内容，在加强理论学习的基础上，重点掌握动物神经、肌肉离体标本的制备技术，掌握电生理学测量的基本技术。

实验 4-1　蛙的坐骨神经-腓肠肌标本的制备

【目的要求】

1. 学习蛙类动物单毁髓与双毁髓的方法。

2. 学习并掌握蛙类坐骨神经-腓肠肌标本的制备方法。

【原理】

蛙类的一些基本生命活动和生理功能与恒温动物相似，而其离体组织所需的生活条件比较简单，易于控制和掌握。因此在实验中常用蟾蜍或青蛙的坐骨神经-腓肠肌标本来观察兴奋与兴奋性、刺激与肌肉收缩等基本生理现象和过程。制备坐骨神经-腓肠肌标本是生理学实验中必须掌握的一项基本技能。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械（包括粗剪刀、手术剪、手术镊、眼科剪、眼科镊、金属探针、玻璃分针）、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 毁脑和脊髓

取青蛙一只，用纱布包裹青蛙的四肢和躯干，露出头部。用左手握住青蛙，并用食指按压头部前端，拇指按压背部，使头部前俯；右手持金属探针由头前端沿中线向尾方划触，触及凹陷处即枕骨大孔的所在位置。将探针由凹陷处垂直刺入，刺破皮肤即入枕骨大孔，这时将探针尖端转向头方，向前探入颅腔内，然后向各个方向搅动探针，以捣毁脑组织。如探针确实在颅腔内，可感觉出针在四面皆壁的腔内。脑组织捣毁后，将探针退出，再由枕骨大孔刺入，并转向尾方，与脊髓平行刺入椎管，以破坏脊髓。要确定脑和脊髓是否完全破坏，可检查动物四肢肌肉的紧张性是否完全消失（图 4-1-1）。

2. 剥制后肢标本

自青蛙的两侧腋部以下完全剥离皮肤（注意：可事先剪去尾椎末端及泄殖腔附近的

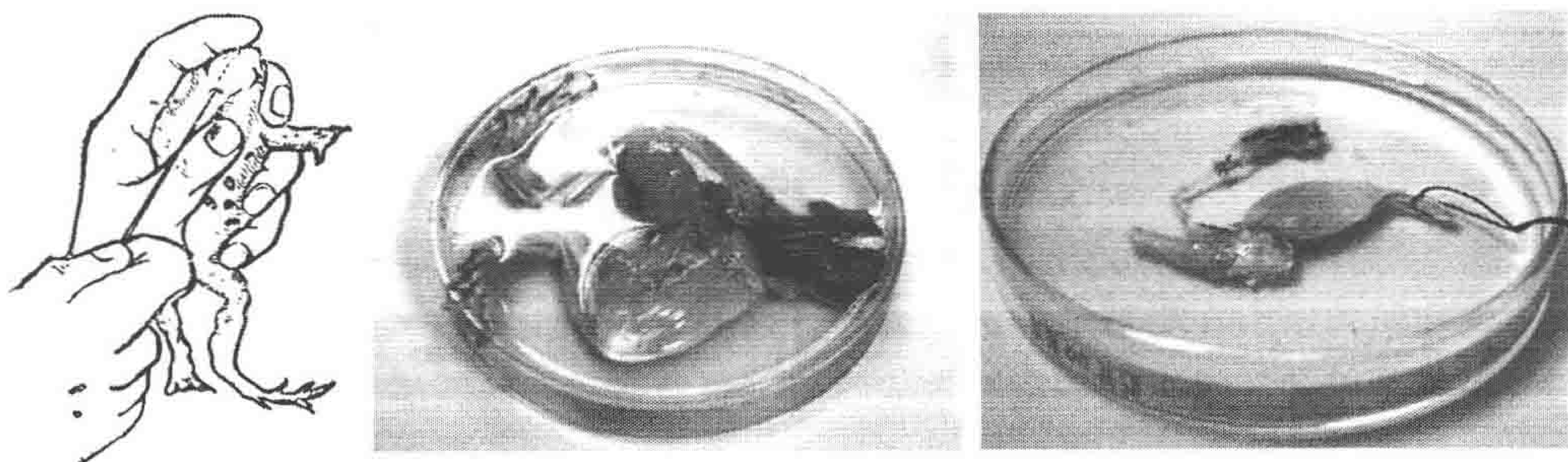


图 4-1-1　毁脑和脊髓，后肢标本和坐骨神经-腓肠肌标本

皮肤，使剥离更容易)。而后倒提蛙腿，使其头部向下，用手术剪横向剪开腹部肌肉，看清脊神经后，用粗剪刀剪断脊柱（注意勿损伤坐骨神经)。把标本浸泡于盛有任氏液的培养皿中（图 4-1-1)。将手及用过的剪刀、镊子等全部手术器械洗净，再继续下面的步骤。

3. 制备坐骨神经-腓肠肌标本

（1）分离两腿。用粗剪刀纵向剪开脊柱（尾杠骨留在一侧）和与两后肢相连的肌肉，再用粗剪刀剪开趾骨联合（为保证两侧坐骨神经完整，应避免剪刀偏向一侧)。将已分离的标本浸入盛有任氏液的培养皿中。

（2）游离坐骨神经。取一条蛙腿，先用玻璃分针沿脊柱侧游离坐骨神经腹腔部，然后用固定针将标本背位固定于干净蜡盘上。用玻璃分针循股二头肌和半膜肌之间的坐骨神经沟，纵向分离暴露坐骨神经的大腿部分，直至分离至腘窝胫神经分叉处。然后剪断二头肌、半腱肌和半膜肌肌腱，并绕至前方剪断股四头肌腱。自上而下剪断所有坐骨神经分支，将连着 3～4 节椎骨的坐骨神经分离出来。

（3）分离腓肠肌。用玻璃分针或镊子分离腓肠肌与跟腱，并穿线结扎。在结扎远端用粗剪刀剪断跟腱，左手执线提起腓肠肌，用手术剪剪去其周围联系的组织，但保留腓肠肌起始点与骨的联系，注意切勿损伤支配该肌的神经分支。

（4）完成坐骨神经腓肠肌标本（图 4-1-1)。将已游离的坐骨神经搭在腓肠肌上。用粗剪刀自膝关节周围向上剪除并刮净所有大腿肌肉，在距膝关节约 1cm 处剪断股骨。弃去上段股骨，保留部分即为坐骨神经-腓肠肌标本。将标本放入盛有新鲜任氏液的培养皿中待用。

（5）标本活性检验。用手术镊轻轻提起标本的脊柱骨片，再用经任氏液润湿的锌铜弓刺激神经。若腓肠肌迅速发生收缩反应，说明标本机能良好，制备成功。应及时移至盛有任氏液的培养皿中，供实验所用。

【注意事项】

1. 在制备神经肌肉标本的过程中，要不断滴加任氏液，以防标本干燥，丧失正常生理活性。

2. 操作过程中应避免强力牵拉和手捏神经或夹伤神经肌肉。

3. 沿脊柱中央把青蛙的下半部分剪为左右两半时，要对称剪断，否则会损伤坐骨神经。

4. 所用的器械要洁净，接触蛙皮肤，特别是蟾蜍皮肤的用具必须洗净后使用。

【思考题】

1. 制备坐骨神经-腓肠肌标本时应注意些什么？

2. 锌铜弓为什么可以检测神经肌肉的兴奋性？

3. 剥皮后神经肌肉标本出现的血液能用自来水冲洗吗？为什么？

实验 4-2　刺激强度与骨骼肌收缩反应的关系

【目的要求】

1. 学习肌肉实验的电刺激方法及肌肉收缩的记录方法。

2. 观察刺激强度与肌肉收缩反应的关系。

【原理】

腓肠肌由许多肌纤维组成。刺激腓肠肌时，不同的刺激强度会引起肌肉的不同反应。当刺激强度过小时，不会引起肌肉发生收缩反应，此时的刺激为阈下刺激。当全部肌纤维同时收缩时，则出现最大的收缩反应。这时，即使增大刺激强度，肌肉收缩的力量也不再随之加大。可以引起肌肉发生最大收缩反应的最小刺激强度为最适刺激强度。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器（100g）、支架、一维位移微调器、肌槽、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 制备坐骨神经-腓肠肌标本

制备坐骨神经-腓肠肌标本，置于任氏液中稳定 5～15min，以稳定其兴奋性，备用。

2. 固定标本

将坐骨神经-腓肠肌标本所带的股骨断端固定于肌槽的骨头固定孔内，腓肠肌肌腱上的扎线与张力换能器金属弹性梁臂上相连，然后将标本的坐骨神经干搭在肌槽的电极上，电极接头与刺激输出线相接，方法见图 4-2-1。利用一维位移微调器调节扎线的张力，不可过松或过紧，使肌肉自然拉平为宜（保证肌肉一旦收缩，即可牵动张力换能器的金属弹性梁）。

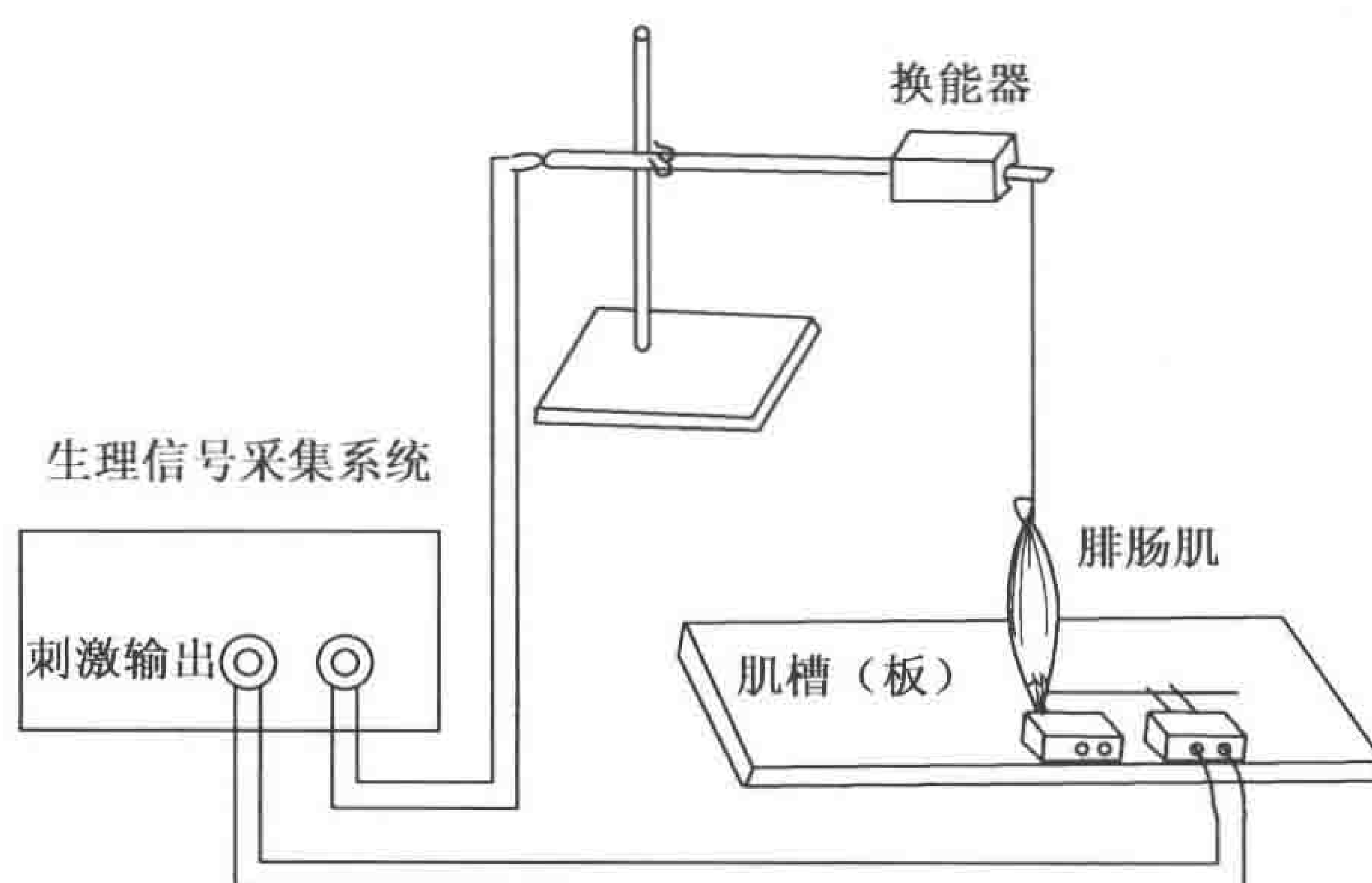


图 4-2-1　实验装置图

3. 实验仪器连接及参数设置

打开计算机采集系统，连接各仪器，选择实验项目“刺激强度与反应的关系”。调

节刺激延时至最小，波宽为1ms，选择强度递增刺激方式进行刺激。放大倍数一般设为10～20倍或灵敏度30g/div，滤波频率为100Hz，扫描速度为1.0s/div（放大倍数、滤波频率及扫描速度可根据实验标本不同具体设置，延时设为最小）。

4. 实验观察

（1）启动刺激图标，观察肌肉收缩反应。如果肌肉无收缩反应，则适当增加刺激强度，其他刺激参数保持不变。间隔少许时间，重复进行刺激，直到出现肌肉的最小收缩。测量收缩幅度并记下刺激强度，此时的刺激强度为阈强度。

（2）逐渐增加刺激强度，观察刺激强度与肌肉收缩反应的关系。

（3）当刺激强度达到某一数值后，肌肉收缩幅度不再随刺激强度的增加而升高。记录此时的收缩曲线和刺激强度（图4-2-2）。

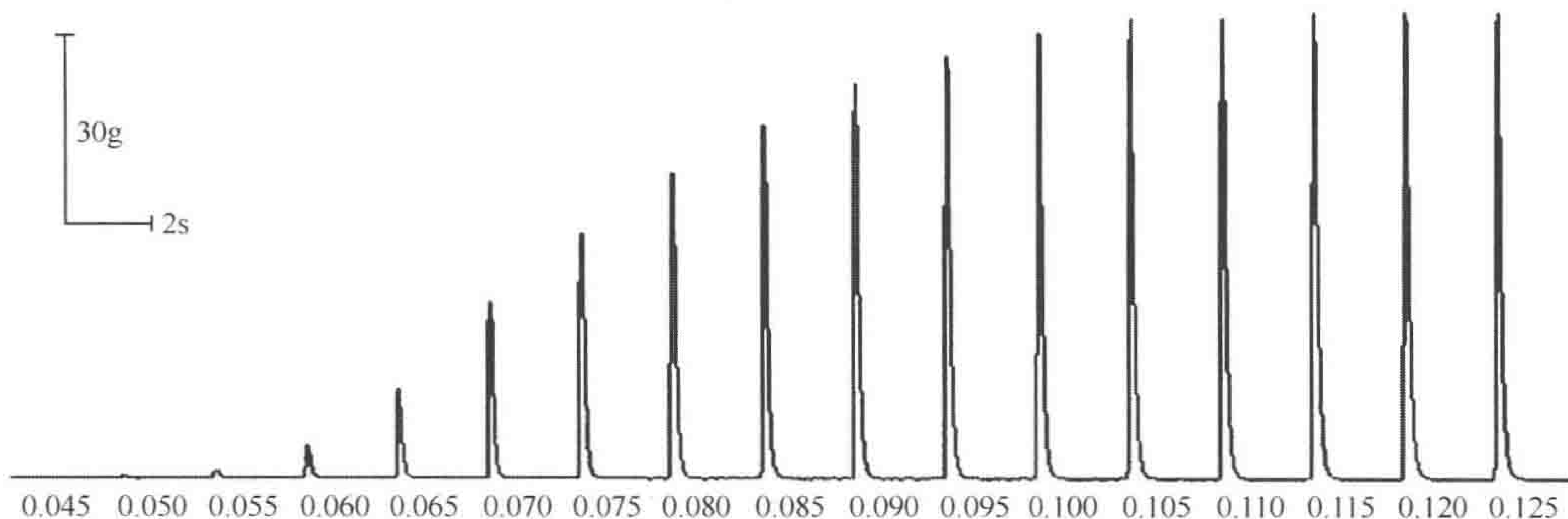


图4-2-2　腓肠肌刺激强度与骨骼肌收缩反应的关系

【注意事项】

1. 离体坐骨神经-腓肠肌标本制备好后需在任氏液中浸泡一定时间。标本兴奋性必须良好，经常滴加少量任氏液以保持湿润。

2. 如果肌肉在未给予刺激时即出现挛缩，是由于漏电等原因引起的，需检查仪器接地是否良好。

3. 不进行正式记录时，电子刺激器输出端应断开，以免不必要的、频繁的刺激。另外应注意刺激器的两个输出端不要碰在一起。

4. 做肌肉最大收缩实验时，刺激强度不宜太大，否则会损伤神经。

5. 实验过程中保持换能器与标本连线的张力不变。

6. 当刺激神经无肌肉反应时，可直接刺激肌肉。原因是神经与肌肉接点容易受到内外环境的影响而丧失其兴奋性。

【思考题】

1. 同一标本的阈刺激强度与最适刺激强度是否会发生变化？为什么？

2. 连续电刺激神经，为何容易产生肌肉疲劳？

实验4-3　骨骼肌单收缩的分析

【目的要求】

1. 观察骨骼肌单收缩过程。

2. 分析骨骼肌单收缩的 3 个时期。

3. 比较直接刺激肌肉与刺激支配肌肉的神经，其收缩曲线有何不同。

【原理】

肌组织对于一个阈上强度的刺激，发生一次迅速的收缩反应，称为单收缩。单收缩的过程可分为 3 个时期：潜伏期、收缩期和舒张期（图 4-3-1）。

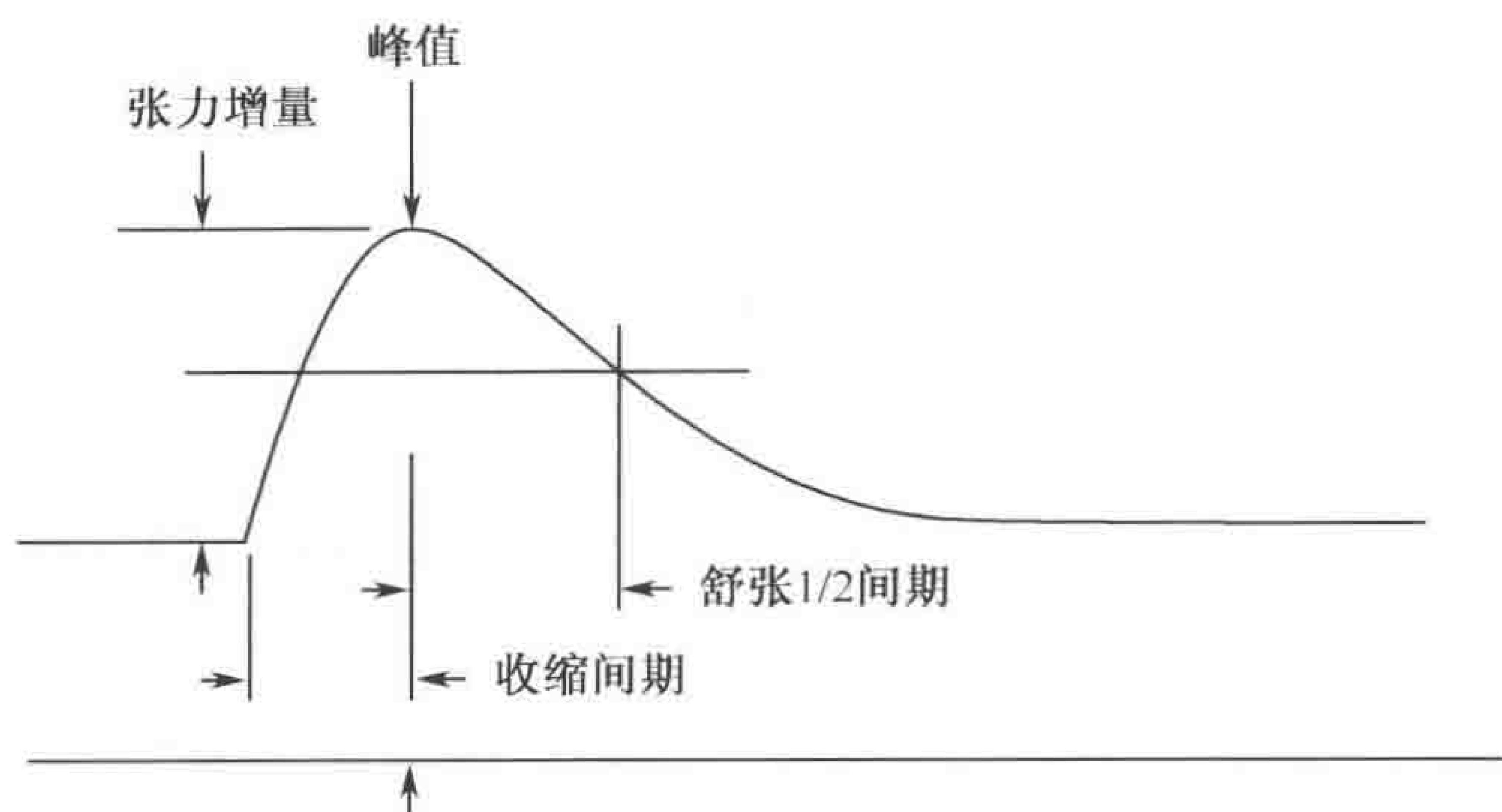


图 4-3-1 骨骼肌单收缩的收缩/舒张测量情况

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍的坐骨神经-腓肠肌标本；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器（100g）、支架、一维位移微调器、双凹夹、肌槽、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 实验仪器用品的准备

同实验 4-2，固定好实验标本。

2. 实验仪器连接及参数设置

打开计算机采集系统，连接各仪器，选择张力信号输入。在刺激调节区调节延时至最小，波宽 1ms，选择单刺激方式进行刺激。放大倍数一般设为 10～20 倍或灵敏度 75g/div，滤波频率为 100Hz，扫描速度为 20ms/div（放大倍数、滤波频率及扫描速度可根据实验标本不同具体设置，延时设为最小）。

3. 实验观察

调节刺激强度，使肌肉收缩的幅度适中（30mm 左右）。将实验用通道的扫描速度调快，启动刺激开关。当显示通道出现一个单收缩曲线时停止记录。测量单收缩的三个时程：潜伏期、收缩期和舒张期（图 4-3-2）。

【注意事项】

注意扫描速度适中，给予刺激时能得到完整的单收缩曲线。其他注意事项参见实验 4-2。

【思考题】

1. 实验结果说明骨骼肌有哪些生理特性？

2. 本实验的潜伏期是指什么时期，时间如何计算，其中包括哪些时间因素及生理过程？

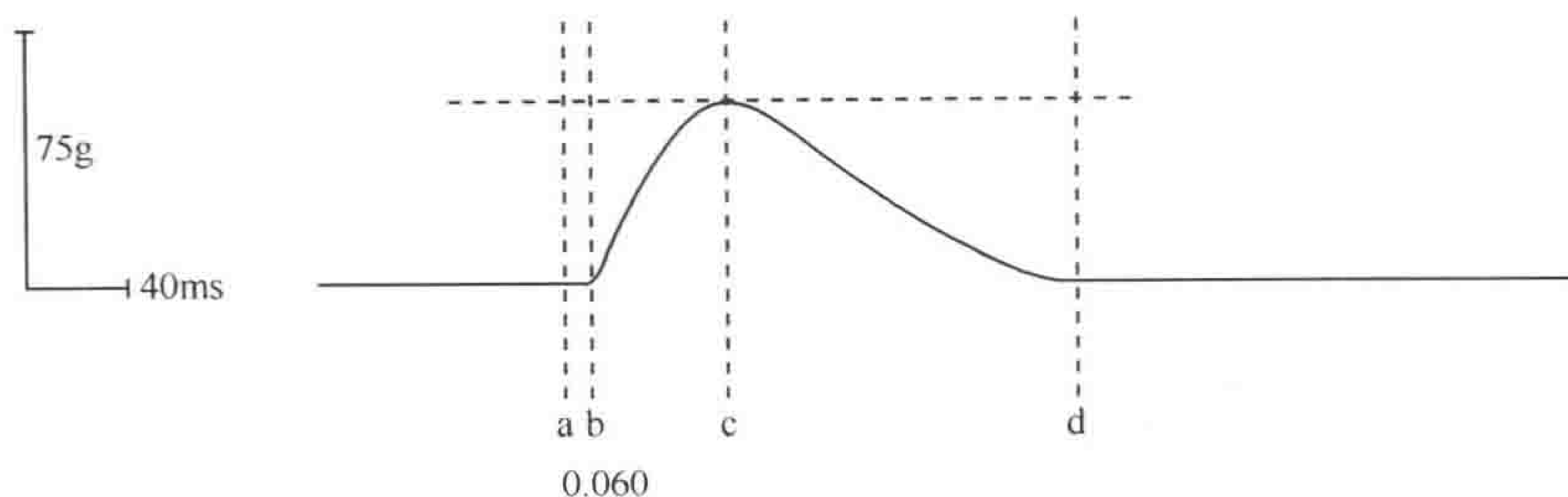


图 4-3-2 骨骼肌单收缩的描记

a～b. 潜伏期 10ms；b～c. 收缩期 55ms；c～d. 舒张期 165ms；室温：18～21℃

3. 你在实验中观察到几种表示肌肉兴奋性的指标？

实验 4-4 骨骼肌收缩的总和与强直收缩

【目的要求】

1. 了解骨骼肌收缩的总和现象。

2. 观察不同频率的阈上刺激引起肌肉收缩形式的改变。

【原理】

两个同等强度的阈上刺激，相继作用于神经-肌肉标本，如果刺激间隔大于单收缩的时程，肌肉则出现两个分离的单收缩；如果刺激间隔小于单收缩的时程而大于不应期，则出现两个收缩反应的重叠，称为收缩的总和；当同等强度的连续阈上刺激作用于标本时，则出现多个收缩反应的叠加，此为强直收缩。当后一收缩发生在前一收缩的舒张期时，称为不完全强直收缩；后一收缩发生在前一收缩的收缩期时，各自的收缩则完全融合，肌肉出现持续的收缩状态，此为完全性强直收缩。

运动神经元发放冲动的频率同样会影响骨骼肌的收缩形式和收缩强度。在一次单收缩中，动作电位时程（相当于绝对不应期）仅 1～2ms，而收缩过程可达几十甚至几百毫秒，因而骨骼肌有可能在机械收缩过程中接受新的刺激并发生新的兴奋和收缩。新的收缩过程可以与上次尚未结束的收缩过程发生总和。当骨骼肌受到频率较高的连续刺激时，可出现以这种总和过程为基础的强直收缩。如果刺激频率相对较低，总和过程发生在前一次收缩过程的舒张期，会出现不完全强直收缩；如提高刺激频率，使总和过程发生在前一次收缩过程的收缩期，就会出现完全性强直收缩。通常所说的强直收缩是指完全性强直收缩。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍的坐骨神经-腓肠肌标本；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器（100g）、支架、一维位移微调器、双凹夹、肌槽、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 实验仪器用品的准备

同实验 4-2，固定好实验标本。

2. 实验仪器连接及参数设置

打开计算机采集系统，连接各仪器，选择实验项目“刺激频率与反应的关系”。调

节刺激的延时、波宽至最小，放大倍数一般设为10～20倍，滤波频率为100Hz。

3. 实验观察

(1) 收缩的总和：启动波形显示图标，调节扫描速度为500ms/div，调节单收缩幅度为1.5cm左右。将刺激设置为双刺激方式，并使两个阈上刺激强度相等。先调节刺激间隔大于单收缩的时程，然后逐渐缩短刺激间隔，分别观察并记录肌肉收缩形式的变化（图4-4-1）。

(2) 强直收缩：用“频率递增”刺激模式，选择合适的扫描速度（500ms/div）和信号增益，使单收缩的幅度减小至3～5mm，观察并记录肌肉收缩曲线的变化（图4-4-2）。

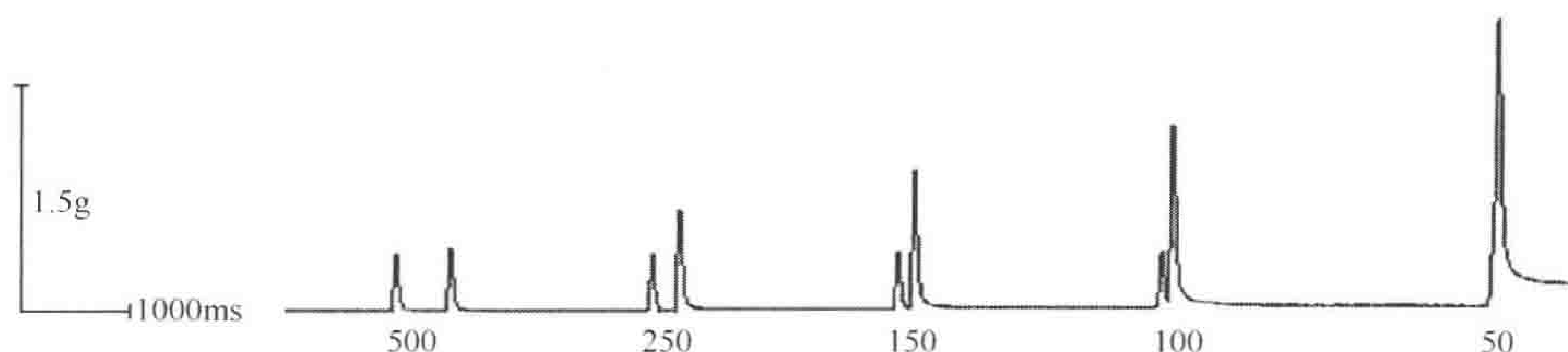


图4-4-1　蛙腓肠骨骼肌收缩总和的实验记录

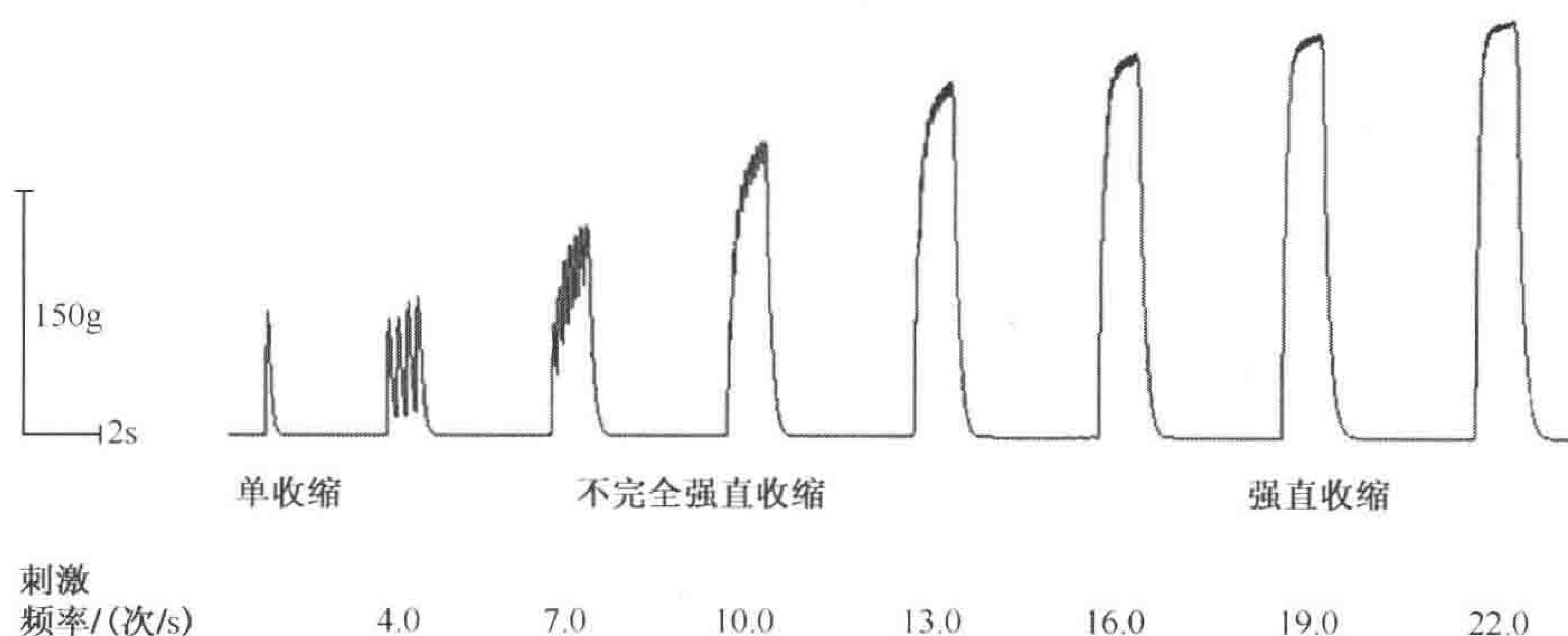


图4-4-2　蛙腓肠肌强直收缩实验记录

【注意事项】

在肌肉收缩后，应让肌肉休息一定时间后再作下一次刺激，特别是在观察刺激频率的影响时。

【思考题】

1. 分析讨论肌肉发生收缩总和的条件与机制。

2. 分析讨论不完全强直收缩和完全强直收缩的条件与机制。

实验4-5　骨骼肌电兴奋与收缩的时相关系

【目的要求】

1. 了解骨骼肌电信号的记录方法。

2. 掌握骨骼肌电活动与肌肉收缩的时相关系。

【原理】

骨骼肌兴奋在前，收缩在后。即在神经冲动的作用下，骨骼肌首先产生动作电位，然后发生收缩。

将肌肉活动时的电位变化记录下来，得到肌电图（electromyogram，EMG）。用一根针电极或同心（针）电极刺入一块肌肉，可记录运动单位或运动单位的一部分肌电活动。肌电图主要显示肌肉纤维的动作电位，但其记录中也混有运动终板的电位，一般不予区别。当记录的局部肌肉不活动时，无电位变化。但当健康的肌肉进行微弱的随意收缩时，则可记录到运动单位的动作电位。当进行持久而用力的随意收缩时，不同运动单位的动作电位就不好分辨，所记录到的只是“干涉型”的电位。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍的腓肠肌标本或坐骨神经-腓肠肌标本；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器（100g）、双针形露丝电极、支架、一维位移微调器、双凹夹、肌槽、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 按实验 4-2 的方法准备仪器并装置张力换能器，接通张力换能器传入通道。

2. 将双针形露丝电极置于腓肠肌表面，通过信号输入线接通要观察的肌电信号通道（图 4-5-1）。

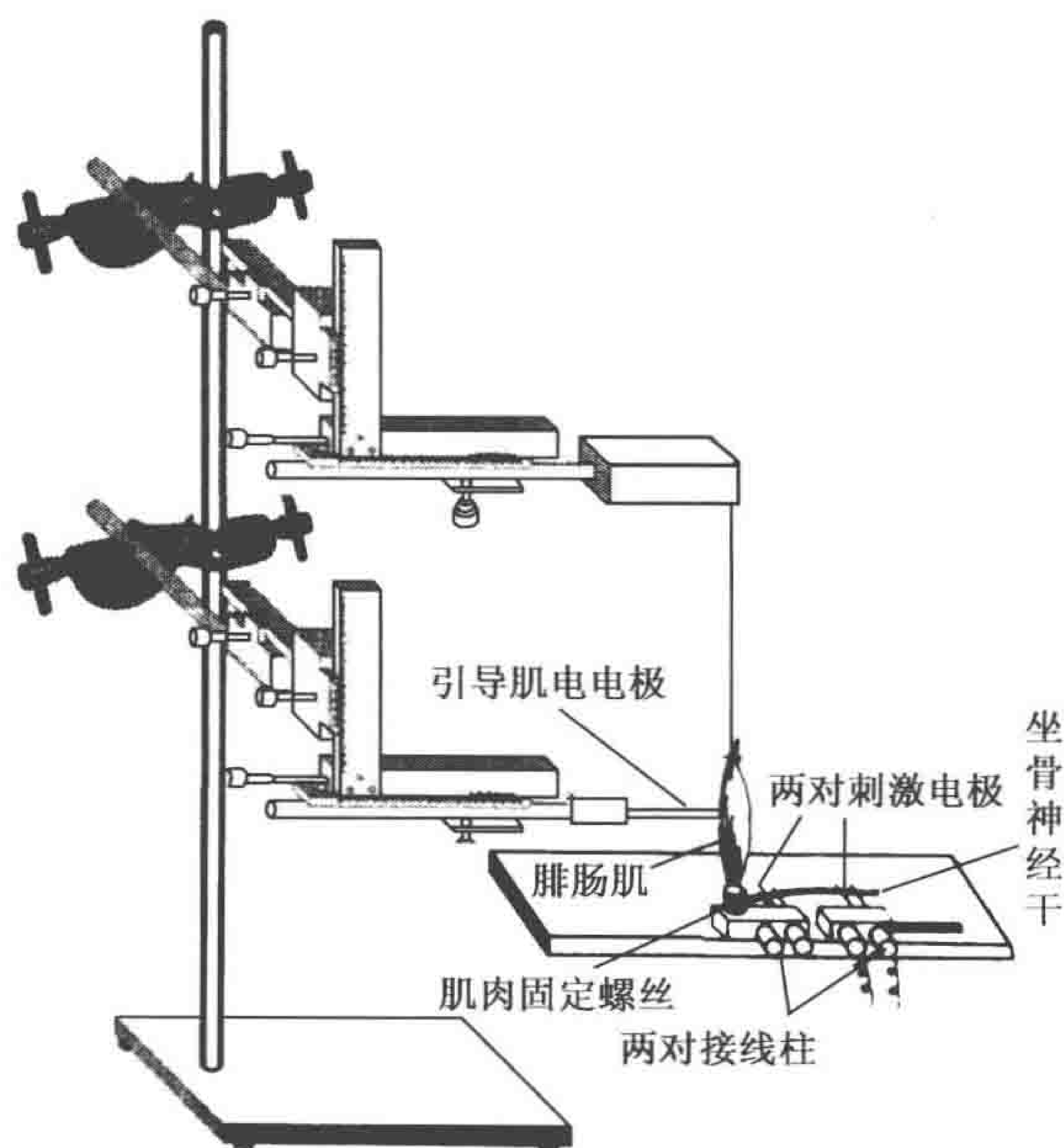


图 4-5-1　蛙腓肠肌肌电与收缩同步记录实验装置连接图

3. 选择单刺激，调节刺激强度为阈上强度，扫描速度一致。启动刺激图标，用比较显示方式扫描。观察肌电信号与肌肉收缩曲线的关系（图 4-5-2）。

4. 分别测量刺激标记至肌电信号和肌肉收缩终点的时间。

【注意事项】

1. 双针形露丝电极接触肌肉时应注意位置和紧密程度，不要影响收缩幅度的记录，

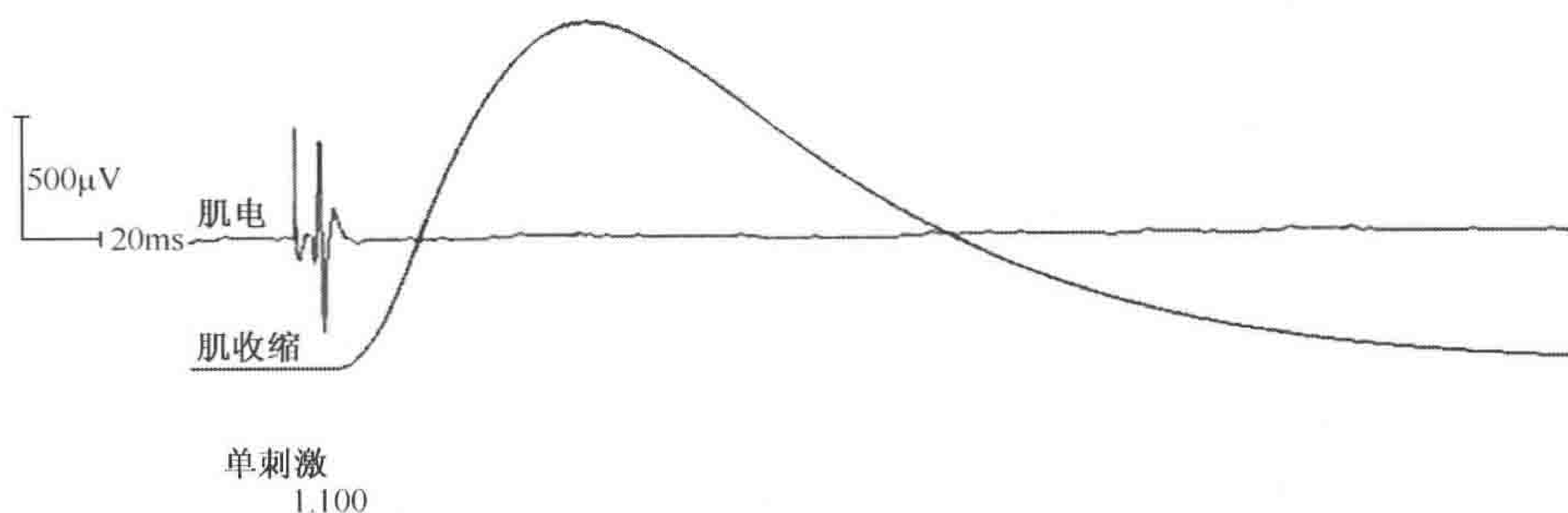


图 4-5-2 蛙腓肠肌肌电与收缩同步记录图

同时要能导出电信号。

2. 注意电信号记录通道与肌肉收缩记录通道扫描速度一致。

【思考题】

1. 从刺激开始至肌电出现，标本内部发生了哪些变化？

2. 从肌电至肌肉收缩之间，肌肉内部又有什么生理活动？

3. 分析神经兴奋、肌肉兴奋与肌肉收缩有何不同。

实验 4-6 神经干动作电位的测定

【目的要求】

1. 学习电生理实验方法。

2. 观察蛙坐骨神经干复合动作电位的波形，并了解其产生的基本原理。

【原理】

神经干在受到有效刺激后，可以产生动作电位，这标志着神经发生兴奋。如果在神经干另一端引导传来的兴奋冲动，可以产生双相的动作电位（图 4-6-1），如果在两个引导电极之间将神经麻醉或损坏，则引导出的动作电位即为单相动作电位。神经细胞的动作电位是以“全或无”的方式产生的。坐骨神经干是由很多不同类型的神经纤维组成

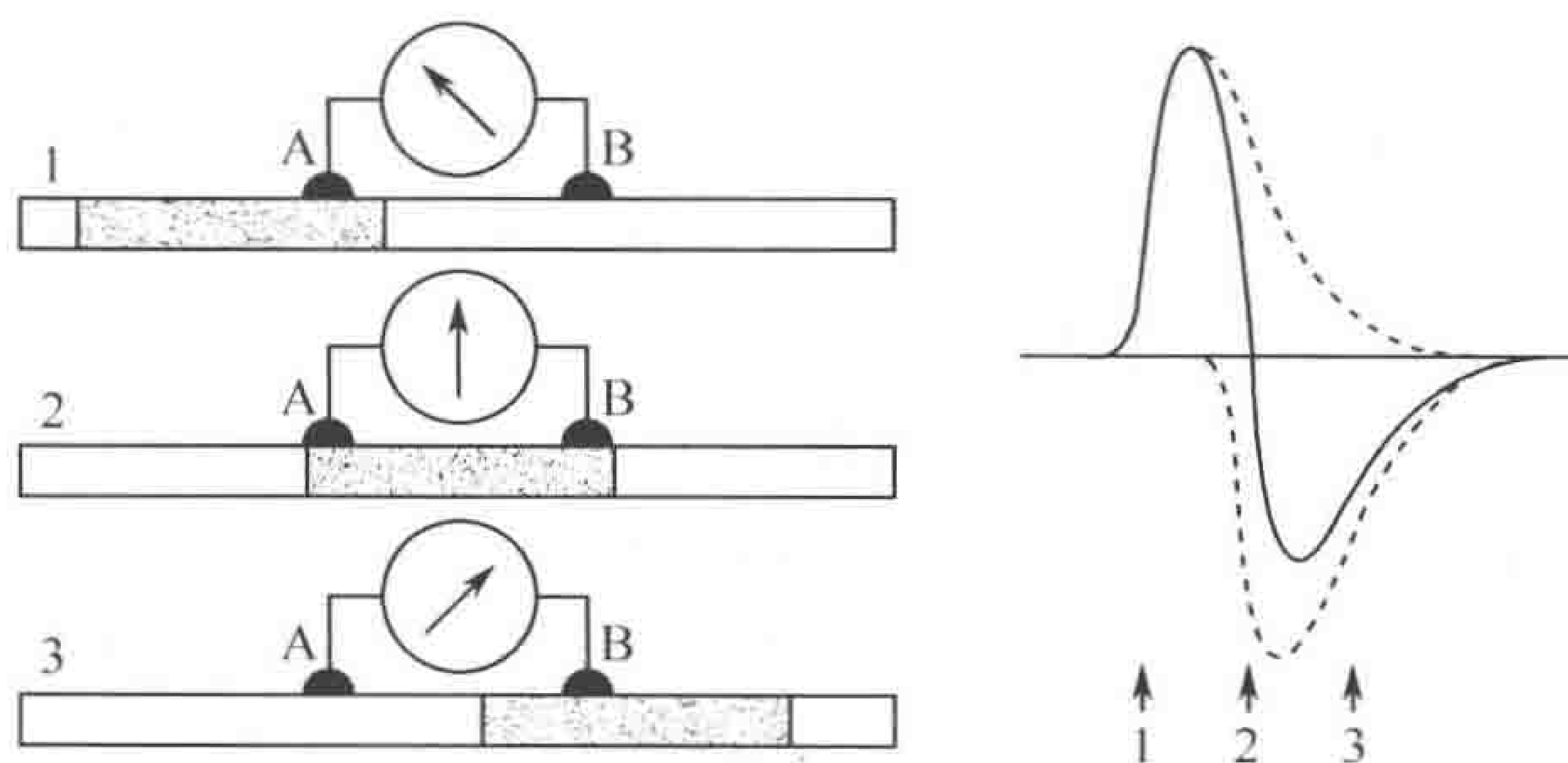


图 4-6-1 神经干双相动作电位记录法

左侧：点区表示负电变化（动作电位），从左向右进行；1. 电极 A 较电极 B 为负；2. 电极 A 与电极 B 电位相等；3. 电极 B 较电极 A 为负

右侧：实线为实际记录的双相动作电位，下面标明数字的箭头表示与左侧三个阶段相对应的瞬时电位差。虚线表示在每个电极下单独的电位变化，实线记录的电位是它们的代数和

的，所以，神经干的动作电位是复合动作电位。复合动作电位的幅值在一定刺激强度下是随刺激强度的变化而变化的。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、神经屏蔽盒、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 制备坐骨神经干标本

(1) 毁脑、脊髓和下肢标本的制备：按照实验 4-1 介绍的方法操作。

(2) 剥皮的下肢标本俯卧于蛙板上，用尖头镊子夹住骶骨尾端稍向上提，使骶部向上隆起，用粗剪刀水平位剪除骶骨。

(3) 标本仰卧置于蛙板上，用玻璃分针分离脊柱两侧的坐骨神经，穿线，紧靠脊柱根部结扎，于近中枢端剪断神经干，用尖头镊子夹起结扎线，将神经干从骶部剪口处穿出。

(4) 标本俯卧置于蛙板上，使其充分伸展呈人字形，用三根大头针将标本钉在蛙板上。然后再用玻璃分针循股二头肌和半膜肌之间的坐骨神经沟，纵向分离暴露坐骨神经大腿部分，分离至腘窝胫腓神经分叉处，用玻璃分针将腓浅神经、胫神经与腓肠神经和胫骨前肌分离，将腓肠肌剪除。

(5) 用手轻提结扎神经的一侧线头，辨清坐骨神经走向，置剪刀于神经与组织之间，剪刀与下肢成 30°角，紧贴股骨、腘窝，顺神经走向剪切直至跟腱，并剪断跟腱和神经的连接处。

(6) 用手捏住结扎神经的线头，用镊子剥离附着在神经干上的组织，将剥离出来的坐骨神经干标本浸入盛有任氏液的培养皿中待用。

2. 系统连接和仪器参数设置

(1) 系统连接：按图 4-6-2 所示连接生物信号采集处理系统与神经屏蔽盒。须避免连接错误或连接不良。

(2) 启动 RM6240 或 BL-420 系统软件，进入系统软件窗口，按下列步骤设置仪器参数：

1) RM6240 系统。点击“实验”菜单，选择“生理科学实验”菜单中的“神经干动作电位”项目，系统进入该实验信号记录状态。仪器参数：第一通道时间常数 0.02～0.002s，滤波频率 1kHz，灵敏度 5mV，采样频率 40kHz，扫描速度 0.5ms/div。单刺激模式，刺激幅度 0.1～3V，刺激波宽 0.1ms，延时 5ms。

2) BL-420 系统。点击“实验项目”菜单，选择“神经肌肉生理实验”中的“神经干动作电位”或“输入信号”菜单“第一通道”中的“动作电位”，系统进入该实验信号记录状态。仪器参数：时间常数 0.02～0.002s，滤波频率 1kHz，扫描速度 0.5ms/div。单刺激模式，刺激幅度 0.1～3V，刺激波宽 0.1ms，延时 5ms。

3. 实验观察与记录

(1) 神经干标本兴奋性。用镊子夹持神经干扎线，将神经干移入神经屏蔽盒内，中枢端置于刺激电极处，从末梢端引导动作电位。使神经干与刺激电极、接地电极、引导

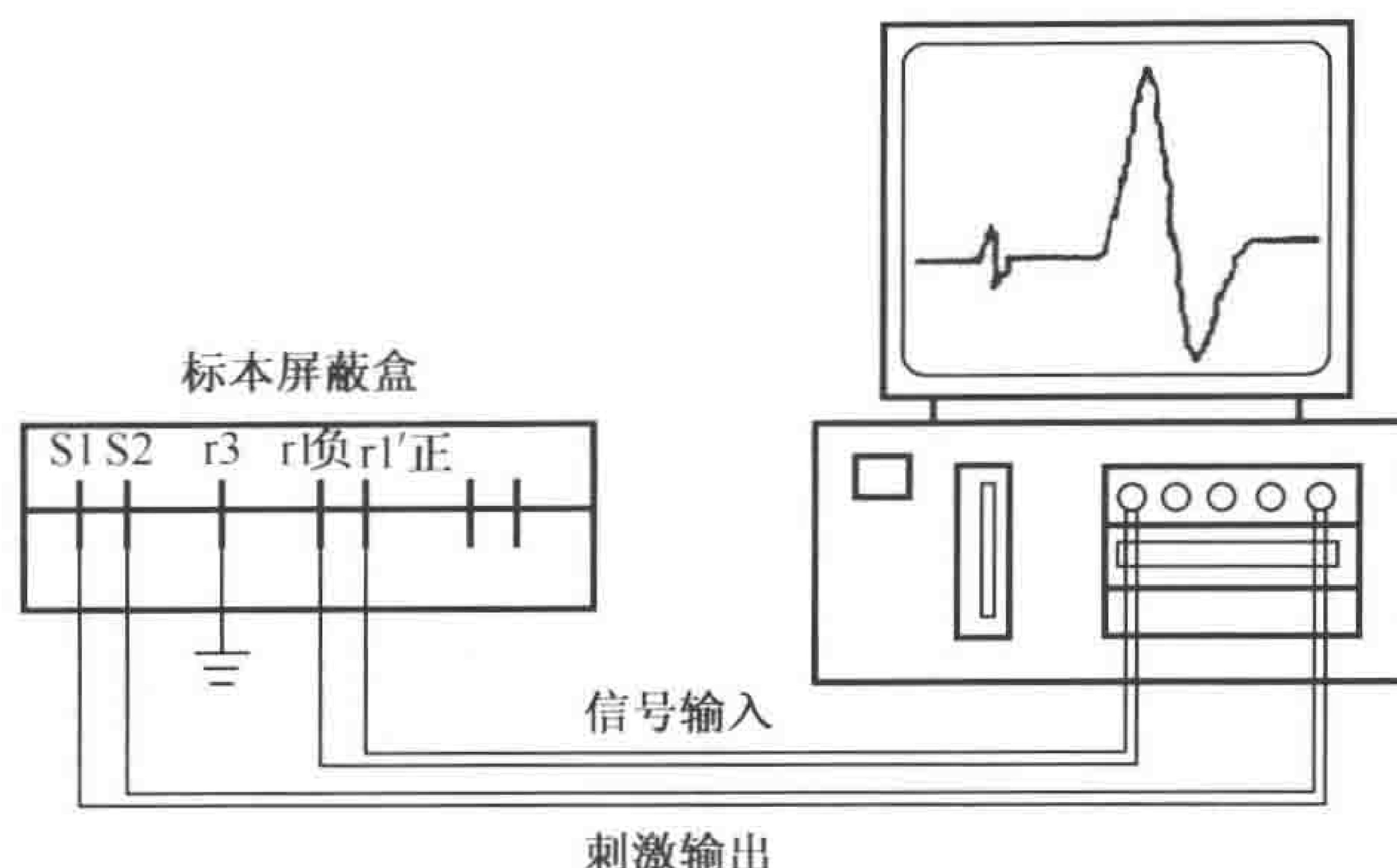


图 4-6-2　神经干动作电位实验装置及连接示意图

S1、S2. 刺激电极，建议 S1 接刺激器输出正端（红），S2 接刺激器输出负端（黑）；r3. 接地电极，接放大器地线端，即生物电输入电缆地线（黑）；r1. 引导电极，“r1 负”接放大器负输入端，即生物电输入电缆负端（绿），“r1 正”接放大器正输入端，即生物电输入电缆正端（红）

电极均接触良好。盖上屏蔽盒盖子。启动刺激图标，观察是否有动作地位。如果没有动作电位，且神经干与电极接触良好，可能是神经干标本无兴奋性，应更换神经干。

（2）神经干兴奋阈值的测定。刺激强度从 0.1V 开始，逐渐增加刺激强度，当刚刚出现动作电位时的刺激强度，即为神经干的兴奋阈值。

（3）双相动作电位。在刺激阈值的基础上逐渐加大刺激强度，可见动作电位的图形为双相，而且其幅值随刺激强度增大而加大。当刺激增加到一定强度时，可见动作电位的幅值不再增大（图 4-6-3）。

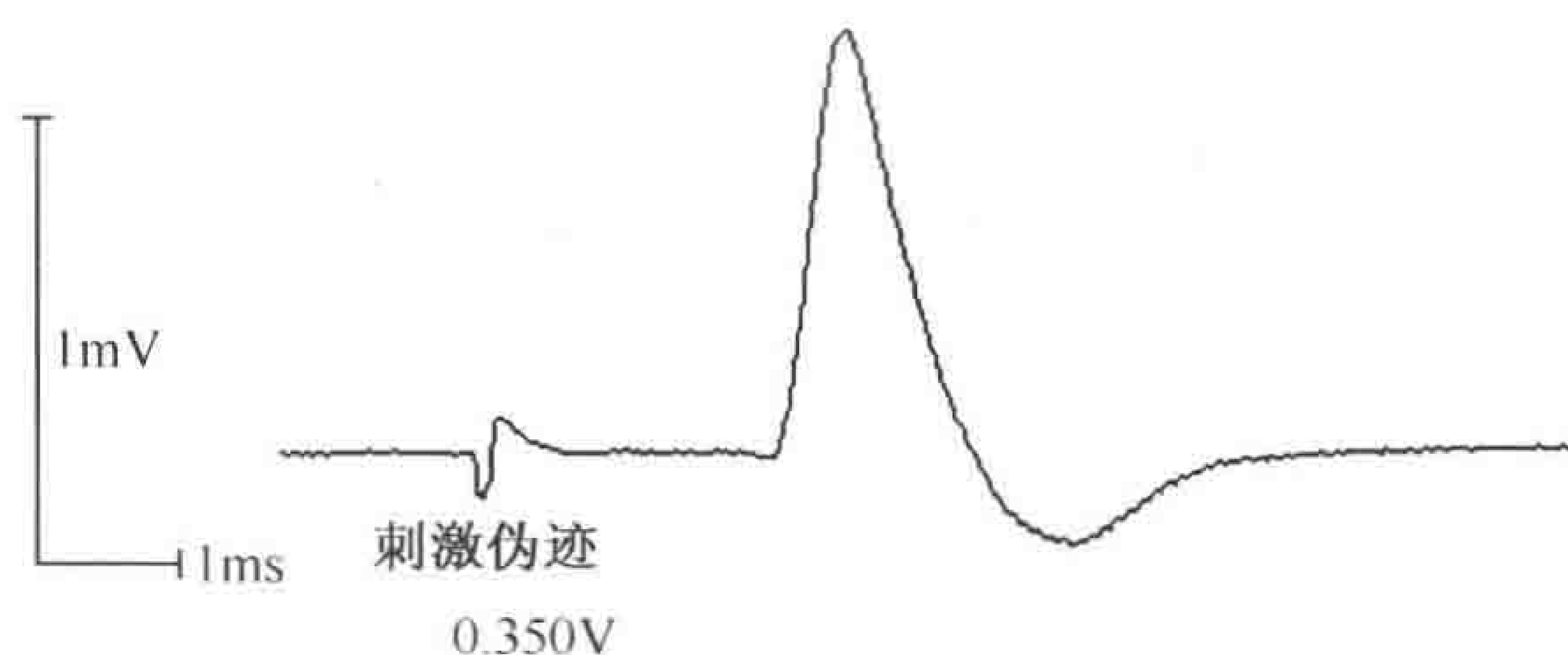


图 4-6-3　蛙类坐骨神经干双相动作电位

（4）动作电位参数的测量。对记录的双相动作电位进行测量，得出双相动作电位的波幅、波宽、潜伏期。

【注意事项】

1. 神经干应尽可能分离得长一些，要求上自脊椎附近的主干，下沿腓总神经与胫神经，一直分离至踝关节附近。

2. 神经干分离过程中慎勿损伤神经组织，以免影响神经的兴奋性。

3. 实验过程应该注意保持标本的活性良好，经常用任氏液湿润。

4. 如果在显示窗上发现动作电位图形倒置，交换引导电极位置即可。

【思考题】

1. 刺激伪迹是如何产生的？有何意义？如何鉴别刺激伪迹与神经干动作电位？

2. 神经干动作电位为什么总是双相的？在两个引导电极之间损伤标本后，为什么动作电位变为单相？单相的动作电位形状与双相动作电位有何不同？为什么？

3. 如果引导电极距离刺激电极更远一些，动作电位的幅值会变小，这是兴奋传导的衰减吗？试解释原因。

实验 4-7 坐骨神经不应期的测定

【目的要求】

1. 了解蛙类坐骨神经干兴奋性的规律性变化。

2. 学习绝对不应期和相对不应期的测定方法。

【原理】

神经在一次兴奋的过程中，其兴奋性也发生一个周期性的变化，而后才恢复正常。兴奋性的周期变化，依次包括绝对不应期、相对不应期、超常期和低常期 4 个时期。为了测定坐骨神经在一次兴奋后兴奋性的周期变化，首先要给神经施加一个条件刺激（S1）引起神经兴奋，然后再用一个测试性刺激（S2），在前一兴奋过程的不同时相给予刺激，用以检查神经的兴奋阈值以及所引起的动作电位的幅值，从而判断神经兴奋性的变化。当刺激间隔时间超过 25ms 时，S1 和 S2 分别引起的动作电位的幅值基本相同。当 S2 距离 S1 接近 20ms 时，发现 S2 所引起的第二个动作电位的幅值开始减小。再逐渐使 S2 向 S1 靠近，第二个动作电位的幅值继续减小，最后 S2 落在第一个动作电位的绝对不应期内而完全消失。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、神经屏蔽盒、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 制备坐骨神经干标本

方法同实验 4-6。

2. 系统连接和仪器参数设置

（1）系统连接：按照实验 4-6 的方法连接神经屏蔽盒和计算机。

（2）启动 RM6240 或 BL-420 系统软件，进入系统软件窗口，按下列步骤设置仪器参数：

1）RM6240 系统。点击“实验”菜单，选择“肌肉神经”或“生理科学实验”菜单中的“神经干兴奋不应期的测定”或“神经干兴奋不应期的自动测定”项目，系统进入该实验信号记录状态。仪器参数：第 1 通道时间常数 0.02s、滤波频率 1kHz、灵敏度 4mV，采样频率 40kHz，扫描速度 1ms/div。双刺激模式，刺激强度选用引起动作电位的最大刺激强度，刺激波宽 0.1ms，起始波间隔 20ms，延时 10ms，同步触发。

2）BL-420 系统。点击“实验项目”菜单，选择“神经肌肉生理实验”中的“神经

干不应期测定”或“输入信号”菜单“第一通道”中的“动作电位”，系统进入该实验信号记录状态。仪器参数：时间常数 0.02s、滤波频率 1kHz、扫描速度 1ms/div。双刺激模式，刺激强度选用引起动作电位的最大刺激强度，刺激波宽 0.1ms，起始波间隔 20ms，延时 10ms。

3. 实验观察与记录

用鼠标点击“开始”→“刺激”，最初可见到相距 20ms（首间隔）的两个动作电位图形，而且两个图形的幅值是同样大小的。此后用鼠标再次点击“刺激”，每刺激一次，第二个刺激即按照“间隔”所设定的时间向第一个刺激靠近一次，从而使第二个动作电位图形向第一个动作电位靠近。当发现第二个动作电位的图形幅值开始比第一个减小时，说明第二个刺激落入到第一次刺激的相对不应期。第二个刺激越是靠近第一个刺激，其动作电位的幅值就越小。当第二个刺激距离第一个刺激大约为 1.5～2ms 左右时，第二个动作电位完全消失，表明第二个刺激落入到第一次兴奋后的绝对不应期（图 4-7-1）。

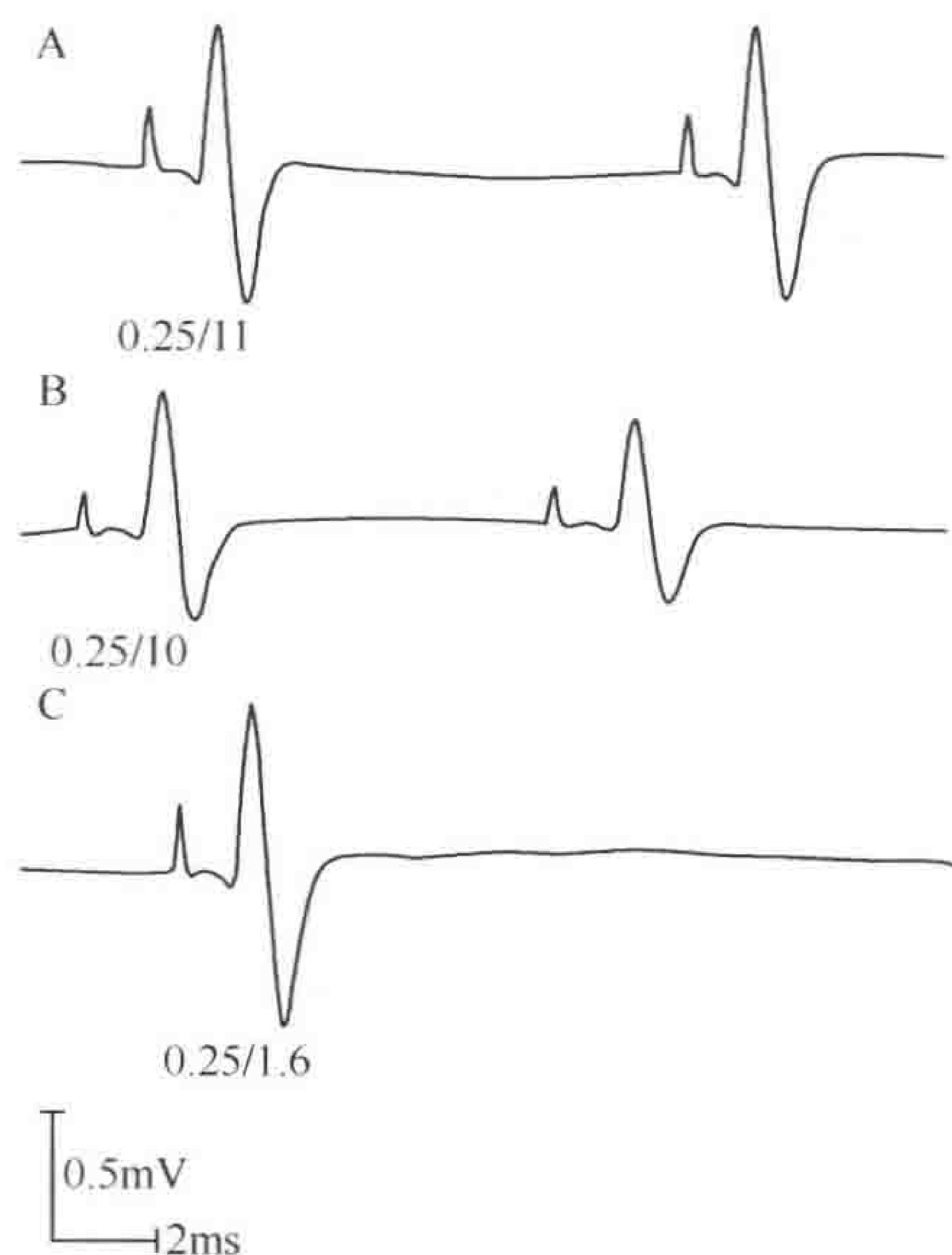


图 4-7-1　坐骨神经不应期的测定

A. 两个独立的动作电位；B. 第二个动作电位落入前一个动作电位的相对不应期；C. 第二个动作电位落入前一个动作电位的绝对不应期

【注意事项】

1. 神经干应尽可能分离得长一些，神经干分离过程中慎勿损伤神经组织，以免影响神经的兴奋性。

2. 注意刺激参数的选择，刺激波宽 0.1ms，两个刺激的间隔适中，首先能得到两个完整的动作电位波形。

3. 实验过程应该注意保持标本的活性良好，经常用任氏液湿润。

【思考题】

1. 刺激落到相对不应期内时，其动作电位的幅值为什么减小？

2. 为什么在绝对不应期内，神经对任何强度的刺激都不再发生反应？

3. 绝对不应期的长短有什么生理学意义？

实验 4-8　神经冲动传导速度的测定

【目的要求】

学习使用生物机能实验系统测定蛙离体神经干上神经冲动传导速度的方法。

【原理】

神经干受到有效刺激兴奋以后，产生的动作电位以脉冲的形式按一定的速度向远处传导。不同类型的神经纤维其传导速度是各不相同的。总体说来，直径粗的纤维传导速度快；直径相同的纤维，有髓纤维比无髓纤维传导快。蛙类的坐骨神经干属于混合性神

经，其中包含有粗细不等的各种纤维，其直径一般为3～29μm，其中直径最粗的有髓纤维为A类纤维，传导速度在正常室温下大约为35～40m/s。

测定神经纤维上兴奋的传导速度（v）时，在远离刺激点的不同距离处分别引导其动作电位，两个引导点之间的距离为米（m），分别引导出的动作电位的时差为秒（s），按照下面的公式来计算其传导速度：$v=m/s$。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、神经屏蔽盒、固定针、锌铜弓、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 制备蛙的坐骨神经干标本

按照实验4-6的方法剥离出蛙的坐骨神经干，尽可能地将坐骨神经干剥离长一些。

2. 系统连接和仪器参数设置

（1）实验装置的连接：连接生物机能实验系统与神经标本屏蔽盒。引导电极有两对：近刺激端的一对（r1负和r1正）和远离刺激端的一对（r2负和r2正），生物机能实验系统使用两个通道（图4-8-1）。

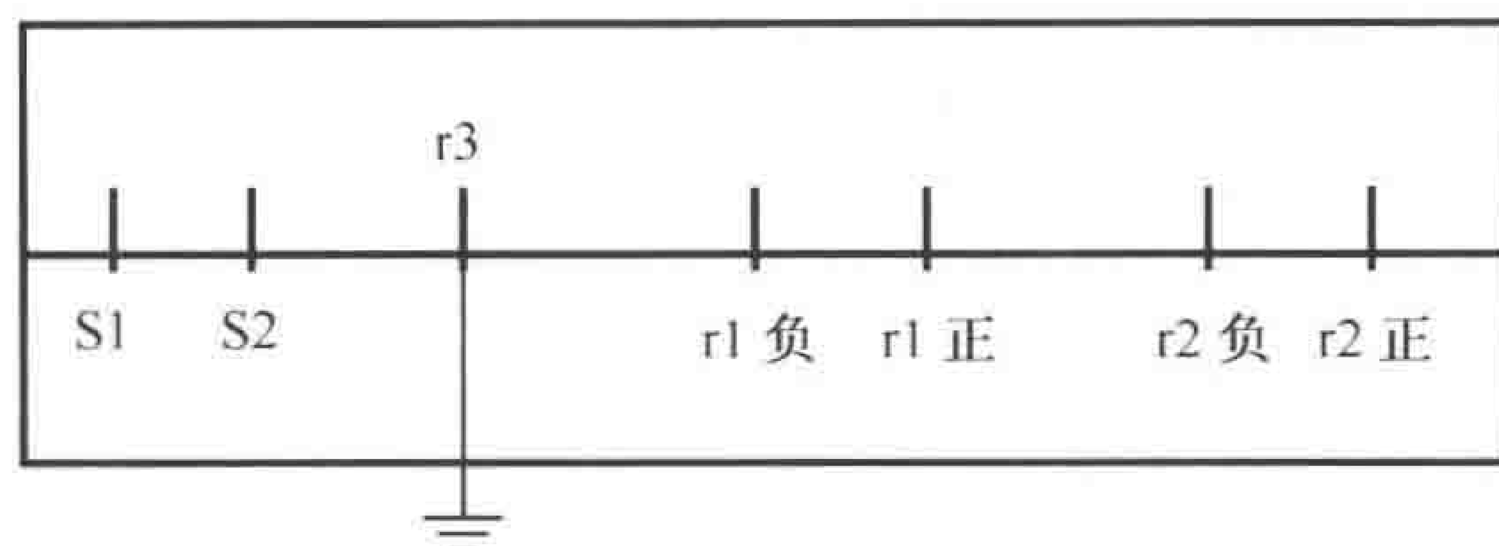


图4-8-1　测定神经冲动传导速度的装置图（标本盒）

S1、S2. 刺激电极，建议S1接刺激器输出正端（红），S2接刺激器输出负端（黑）；r3. 接地电极，接放大器地线端，即生物电输入电缆地线（黑）；r1. 引导电极，r1负接放大器负输入端，即生物电输入电缆负端（绿），r1正接放大器正输入端，即生物电输入电缆正端（红）；r2. 引导电极，r2负接放大器负输入端，即生物电输入电缆负端（绿），r2正接放大器正输入端，即生物电输入电缆正端（红）；在本仪器预设置的实验内，r1接仪器通道1，r2接仪器通道2，通道1、2的地线均连接r3

（2）启动RM6240或BL-420系统软件，进入系统软件窗口，按下列步骤设置仪器参数：

1）RM6240系统。点击“实验”菜单，选择“生理科学实验”菜单中的“神经干动作电位”项目，系统进入该实验信号记录状态。仪器参数：第一、二通道时间常数0.02～0.002s、滤波频率1kHz、灵敏度5mV，采样频率40kHz，扫描速度0.5ms/div。单刺激模式，刺激强度0.1～3V，刺激波宽0.1ms，延迟5ms，同步触发。

2）BL-420系统。点击“实验项目”菜单，选择“神经肌肉生理实验”中的“神经冲动传导速度的测定”或“输入信号”菜单“第一通道”中的“动作电位”，系统进入该实验信号记录状态。仪器参数：第一、二通道时间常数0.02～0.002s、滤波频率1kHz、扫描速度0.5ms/div。单刺激模式，刺激强度0.1～3V，刺激波宽0.1ms，延迟5ms。

3. 实验观察与记录

（1）分别测定两个动作电位的峰值时间点，算出时间差。

（2）测定两对引导电极之间神经干的长度，使用毫米刻度尺准确量出两对引导电极的距离，即为神经干的长度（mm）。

（3）按照实验原理中的计算公式，计算出蛙坐骨神经干的兴奋传导速度（m/s）（图 4-8-2）。

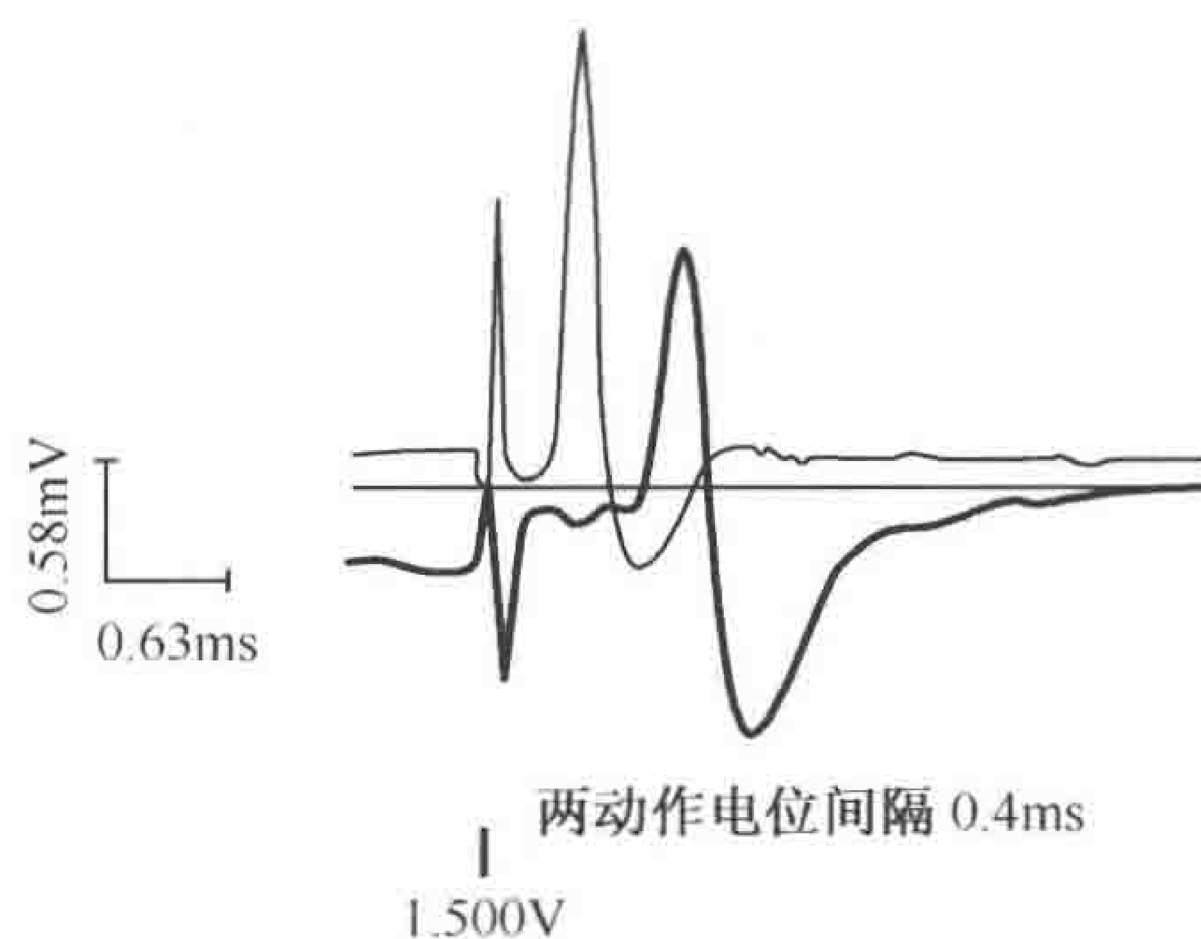


图 4-8-2　神经冲动传导速度的测定

【注意事项】

1. 如果神经干长度足够，则尽量将两对引导电极的距离拉远一些，距离越远，测定的传导速度就越准确。

2. 将神经干搭在引导电极上时，尽量将神经干拉成直线，且无下垂或斜向置放，否则会影响测量神经干长度的准确性，最终影响传导速度的准确性。

3. 尽量减小动作电位的刺激伪迹，以便确定动作电位离开基线的起始点。

【思考题】

1. 这样测定出来的神经传导速度是神经干中哪类纤维的兴奋传导速度？为什么？

2. 测定神经干冲动传导速度时，为何要求两对引导电极间距离越远越好？

3. 为什么远离刺激电极的引导电极引导出的动作电位幅值比靠近刺激电极的引导电极引导出的动作电位较小？

第五章 血　　液

血液是在心血管系统中循环流动着的液体组织，包括血细胞和血浆两部分，是实现心血管系统运输功能的物质基础。动物和人通过呼吸系统吸入氧并呼出二氧化碳，这主要依赖于红细胞的运输。血细胞中还有各种白细胞和血小板，各有其特殊的防御机能。

血浆是体液的组成部分之一。体液可分为细胞内液和细胞外液。细胞外液包括血浆和组织间液。细胞外液是细胞直接生活的环境，称为机体的内环境。机体内环境的化学组成和理化特性（水、电解质、血糖、蛋白质和氢离子浓度、渗透压及温度等）保持相对恒定，是生命存在的必要条件。血液的某些物理和生物学特性，还为临床诊断有关血液病理学变化提供依据。

本章通过血常规检验等实验内容，了解内环境恒定所要求的血液常规理化指标和条件，掌握其测定方法和用于临床治疗的意义。同时还安排了对鱼类等低等动物白细胞分类的探索性实验，以期更加深入的了解与机体免疫有关的白细胞的生理功能。通过实验，还要求掌握动物的取血、血液样本的定量与处理、涂片、染色、镜检等技术方法。

实验 5-1　红细胞计数和血红蛋白浓度的测定

【目的要求】

1. 学习红细胞的人工计数方法。

2. 掌握测定血红蛋白含量的方法；了解血红蛋白含量测定的原理和意义。

【原理】

我们通常使用血细胞计数板来计算血液中的血细胞数。用适当的溶液将血液稀释后，放入计数板的计数室内，在显微镜下计算一定容积血液稀释液中的血细胞个数，再将所得结果换算为 1 mm^3 血液中的血细胞个数。

血红蛋白是红细胞中负责运输氧的蛋白质。氧与血红蛋白在肺中可逆向结合，随后在组织中被释放。与红细胞计数相比，测定血红蛋白的含量是评价血液携氧能力更为精确的方法。血红蛋白的含量越高，运输氧的能力就越强。在正常人体内，每 100mL 血液中血红蛋白含量在 12～18g 之间，男性比女性略高。

测定血红蛋白含量的方法很多，常用比色法，标准方法是以氰化正铁血红蛋白的形式来测定血红蛋白，其含量通过样品与标准液的颜色比较得到。

【动物与器械】

鲫鱼或小鼠；血细胞计数板、盖玻片、手掀计数器、血红蛋白吸管、5mL 吸管、吸耳球、试管架、小试管、显微镜、一次性采血注射器（5mL）、针头（6 号）、红细胞稀释液、双草酸盐抗凝剂、95％酒精、乙醚、1％氨水、血红蛋白计、0.1mol/L 盐酸。

【方法与步骤】

1. 采血及稀释

先用双草酸盐抗凝剂润洗采血注射器及盛血试管以备用；用 5mL 移液管吸取 3.98mL 红细胞稀释液并放入小试管中备用。

用注射器从鱼尾动脉采集鱼血或从小鼠眼球取血，用血红蛋白吸管准确吸取血液 20 μL，擦净管外沾染的血，将取血管插入盛有红细胞稀释液的小试管底部，轻轻吹出血液，并用上清液清洗吸血管 2～3 次，轻轻摇动试管 1～2min，使血液与稀释液充分混匀。

2. 红细胞计数

将盖玻片放入计数板中央，用吸管吸取摇匀的稀释血液，于盖玻片边缘一次性滴入计数室内，使之灌满，静置 2～3min 后，进行计数。

在低倍镜下将计数室中央的大方格置于视野内，转至高倍镜下，计数 5 个中方格（中央大方格四角的和正中的 5 个中方格）内的红细胞总数。计数应循一定的路径，对横跨刻度线上的血细胞，依照“数上不数下，数左不数右”的原则进行计数。如中方格的红细胞数目相差 20 个以上，表明血细胞分布不均匀，必须摇匀稀释液后重新计数。

红细胞数计算：将中央大方格中的 5 个中方格内数得的红细胞总数乘以 10 000，即得每 0.001mL 血液中红细胞总数。因为：

（1）3.98mL 稀释液加入 0.02mL 血液，使其稀释 200 倍，换成未稀释血要乘以 200。

（2）在计数室内只计数 $0.02mm^3$（即 1 个中方格的容积为 $0.2\times0.2\times0.1=0.004mm^3$，5 个中方格的容积为 $0.004\times5=0.02mm^3$），换算成每立方毫米时应乘以 50。

这样把 5 个中方格内数得的红细胞总数乘以 10 000（即 $200\times50=10\ 000$）即得每立方毫米血液内的红细胞总数。

3. 血红蛋白浓度的测定

（1）用滴管加 0.1mol/L 盐酸于血红蛋白稀释管内，到刻度 10 处。

（2）用血红蛋白吸管吸取血液 20μL。

（3）擦净吸管口周围的血液，将吸管插入血红蛋白计的稀释管盐酸溶液内，吹出血液至管底部，反复洗涤吸管使吸管内的血液完全进入稀释管内。搅匀并完全溶血后，使盐酸与血红蛋白充分作用。

（4）将稀释管插入标准比色架中，使无刻度的两侧面位于空格的前后方，便于透光和比色。

（5）用滴管向稀释管内逐滴加入蒸馏水（每加一滴要搅拌），边滴边观察颜色，直至颜色与标准玻璃色柱相同为止。稀释管上液面的刻度读数即为每 100mL 血液血红蛋白的克数。将得到的值与正常生理值进行比较。

附　血细胞计数板的结构

计数板是一块刻有一定面积刻度的长方形厚玻璃板（图 5-1-1）。

计数板通常有前后两个计数平台，放上盖玻片后，平台与盖玻片之间的距离（即高度）为 0.1mm。平台中心部分各以 3mm 长、3mm 宽精确划分为 9 个大方格，称为计数室，每个大方格面积为 $1mm^2$，体积为 $0.1mm^3$。四角的大方格又各分为 16 个中方格，适用于白细胞计数。中央的大方格则由双线划分为 25 个中方格，每个中方格面积

为 0.04mm^2，体积为 0.004mm^3。每个中方格又各分成 16 个小方格；适用于红细胞计数。

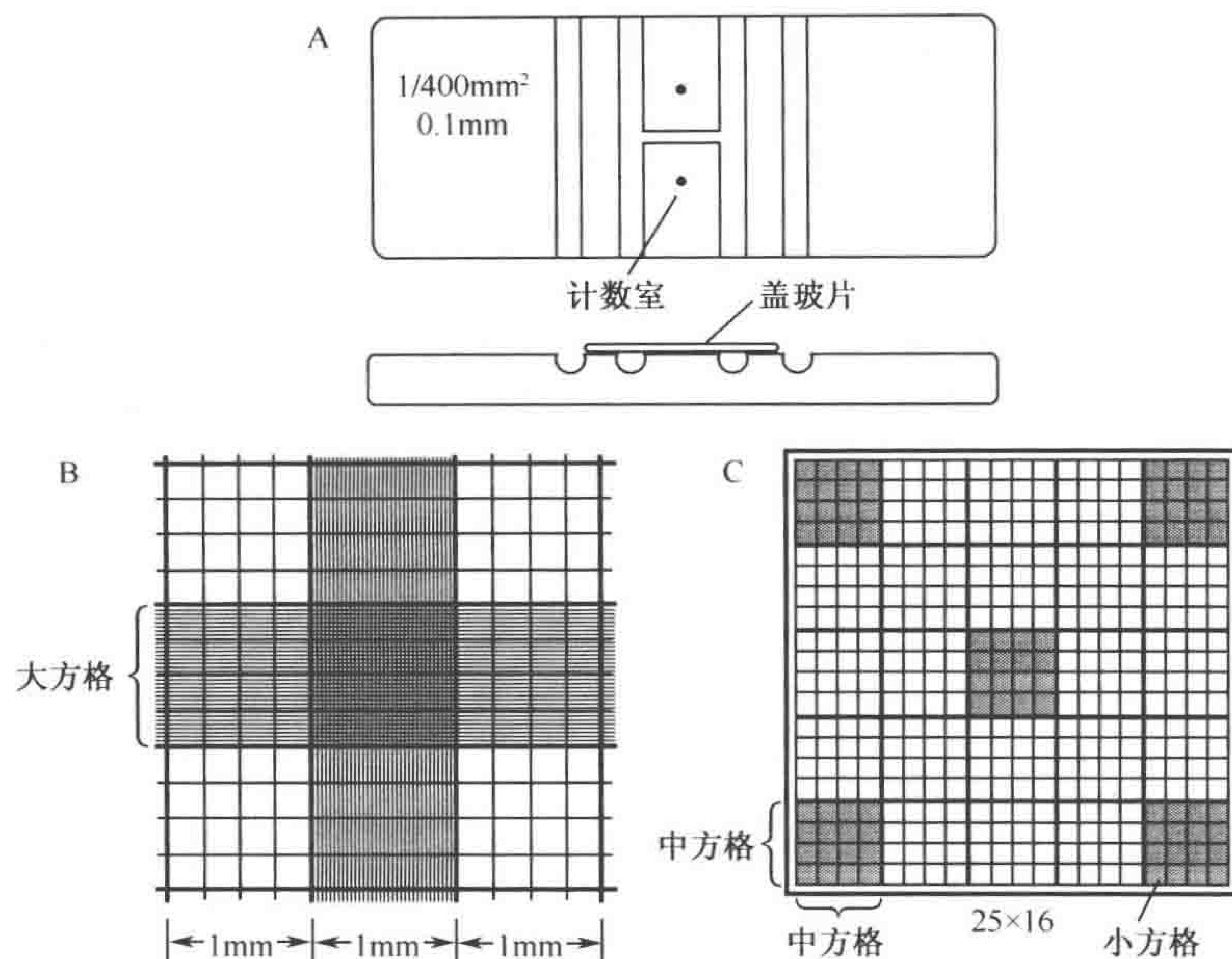


图 5-1-1　血细胞计数板的结构

A. 计数板外形；B. 计数室；C. 放大后的中央大方格（阴影示实验中计数的 5 个中方格）

【注意事项】

1. 血红蛋白吸管必须干燥。

2. 采血时吸管口应全部浸入血液，防止吸入气泡。

3. 整个操作过程要快，采血完成后应尽快清洗吸管，以防血液凝固堵塞吸管。

4. 在血红蛋白测定中，溶血过程要避免气泡的产生。

【思考题】

1. 红细胞稀释液成分及其作用是什么？

2. 采血时，如果发生吸血管内凝血，应如何处理？

实验 5-2　鱼类的红细胞渗透脆性

【目的要求】

1. 学习测定红细胞渗透脆性的方法，理解细胞外液渗透张力对维持细胞正常形态与功能的重要性。

2. 了解红细胞的渗透脆性。

【原理】

红细胞在高渗 NaCl 溶液中，会失去水分发生皱缩；在低渗 NaCl 溶液中，会因过多水分进入红细胞内而膨胀，甚至破裂，使血红蛋白释出，称为溶血。临床常用不同浓度的低渗 NaCl 溶液来测定红细胞膜的渗透脆性。开始出现溶血现象的低渗盐水溶液浓

度，为该血液红细胞的最小抵抗力，即最大脆性值；出现完全溶血时的低渗盐水溶液的浓度，则为该红细胞的最大抵抗力，即最小脆性值。对低渗溶液抵抗力小表示红细胞脆性大；反之，表示脆性小。

【动物与器械】

白鲫鱼；一次性采血注射器（5mL）、针头（6 号）、1mL 和 2mL 吸管、吸耳球、试管架、小试管、双草酸盐抗凝剂、171 mmol/L NaCl 溶液、蒸馏水、95%酒精、乙醚、1%氨水。

【方法与步骤】

1. 配制不同浓度的 NaCl 溶液：取 10 支试管，分别按表 5-2-1 加入 NaCl 溶液和蒸馏水。

2. 用干燥的 2mL 注射器，从鱼尾静脉（附一）采集鱼血 2mL，用注射器向以上 10 支试管中各滴加 1 滴鱼血，具体操作时的血量以能看清楚溶血前后的变化为宜。每加血一管应当立即轻摇试管，以避免形成血凝块，也不可用力过度，以免破坏红细胞。

表 5-2-1 红细胞渗透脆性实验操作表

试剂 \ 管号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
171 mmol/L NaCl 溶液/mL	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
蒸馏水/mL	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
NaCl 溶液终浓度/(mmol/L)	88.9	82.1	75.2	68.4	61.6	54.7	47.9	41.0	34.2	27.36
NaCl 溶液最终百分浓度/%	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16

3. 静置约 2h，观察各管中的变化。

4. 所出现的现象可分为下列三种：

(1) 小试管内液体下层为混浊红色，上层为无色或极淡红的液体，说明红细胞没有溶解。

(2) 小试管内液体下层为混浊红色，而上层出现透明红色，表示部分红细胞破坏和溶解，称为不完全溶血。开始出现部分溶血的盐水溶液浓度，即为红细胞的最小抵抗力，即红细胞的最大脆性。

(3) 小试管内液体完全变成透明红色，说明红细胞完全溶解，即完全溶血。引起红细胞完全溶解的最低盐水溶液浓度，即为红细胞的最大抵抗力，即红细胞的最小脆性。

5. 记录红细胞脆性范围，即开始出现溶血到完全溶血之间盐水的浓度范围。

【注意事项】

1. 试管编号排列顺序切勿弄错、颠倒。

2. 要求吸取 NaCl 溶液和蒸馏水的量要准确、无误。

3. 加入血滴后，轻轻摇匀溶液，切勿剧烈振荡。

4. 应在光线明亮处观察结果，必要时吸取 1 滴试管底部悬液，在显微镜下观察。

【思考题】

1. 何谓红细胞渗透脆性和渗透抵抗力？

2. 测定红细胞渗透脆性时，应注意什么？

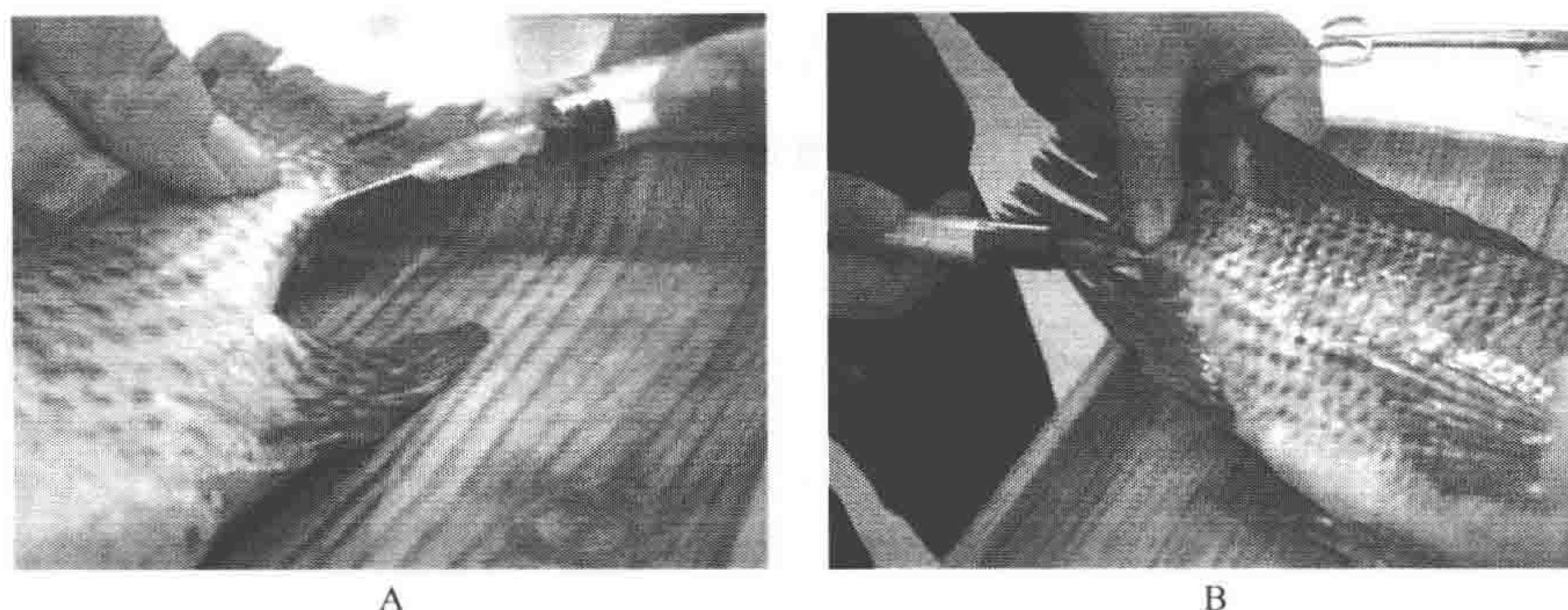
3. 何谓红细胞最大脆性和最小脆性？如何判断？正常值一般是多少？

附一　鱼血的采集

采集鱼血一般用体重为250～500g的鲫鱼或鲤鱼。抽血的部位是鱼尾端脊柱腹面的尾静脉血管。抽取鱼血的注射器与针头先用双草酸盐抗凝剂润湿并来回抽动注射器，排除针筒与针头内的余液。

取鲜活的鱼，侧卧于盘状容器中，用手压住；另一只手持备好的注射器，在鱼的尾柄腹面刺入，然后向鱼脊柱所在的方向推进注射器。当针头轻触椎骨腹面时停止进针，轻轻抽动注射器，便有血液进入针筒。保持姿势不变，抽取鱼血到所需刻度（图5-2-1）。

取血的时间不宜太长，取的量不宜太多，防止血液凝固。



A　　　　　　　　B

图5-2-1　鱼血的采集

A. 鱼尾柄腹面进针；B. 从脊柱腹面的尾静脉中抽取鱼血

附二　双草酸盐抗凝剂的配置

草酸铵（能沉淀在血凝过程中所必需的 Ca^{2+}，但使红细胞略膨大）	1.2g
草酸钾（能沉淀在血凝过程中所必需的 Ca^{2+}，同时使红细胞略缩小）	0.8g
40%甲醛溶液（防止霉菌等微生物生长）	1mL
蒸馏水	加至100mL

实验5-3　鱼类的白细胞分类计数

【目的要求】

1. 熟悉血液涂片的制作和染色技术。

2. 了解鱼类白细胞的组织特征。

【原理】

白细胞是血液中除红细胞、血小板以外其他各种细胞的总称。鱼类白细胞在血液中的数量因鱼种属的不同而不同。鱼类白细胞的体积与红细胞相差无几，这一点不同于哺乳动物，原因是鱼类的红细胞在成熟过程中没有进一步分化。

鱼类白细胞的分类，参照哺乳动物的白细胞分类方法，可分为有粒白细胞——中性、嗜酸性和嗜碱性粒细胞；无粒白细胞——单核细胞和淋巴细胞（图5-3-1）。鱼类的

白细胞多数是中性粒细胞和淋巴细胞。

白细胞分类计数是另一种血细胞计数法。与细胞总数计数不同，分类计数是通过统计 100 个白细胞样品中不同类白细胞的数量，确定各类白细胞的比例。白细胞比例的任何异常或明显改变，都可能意味着疾病的发生。

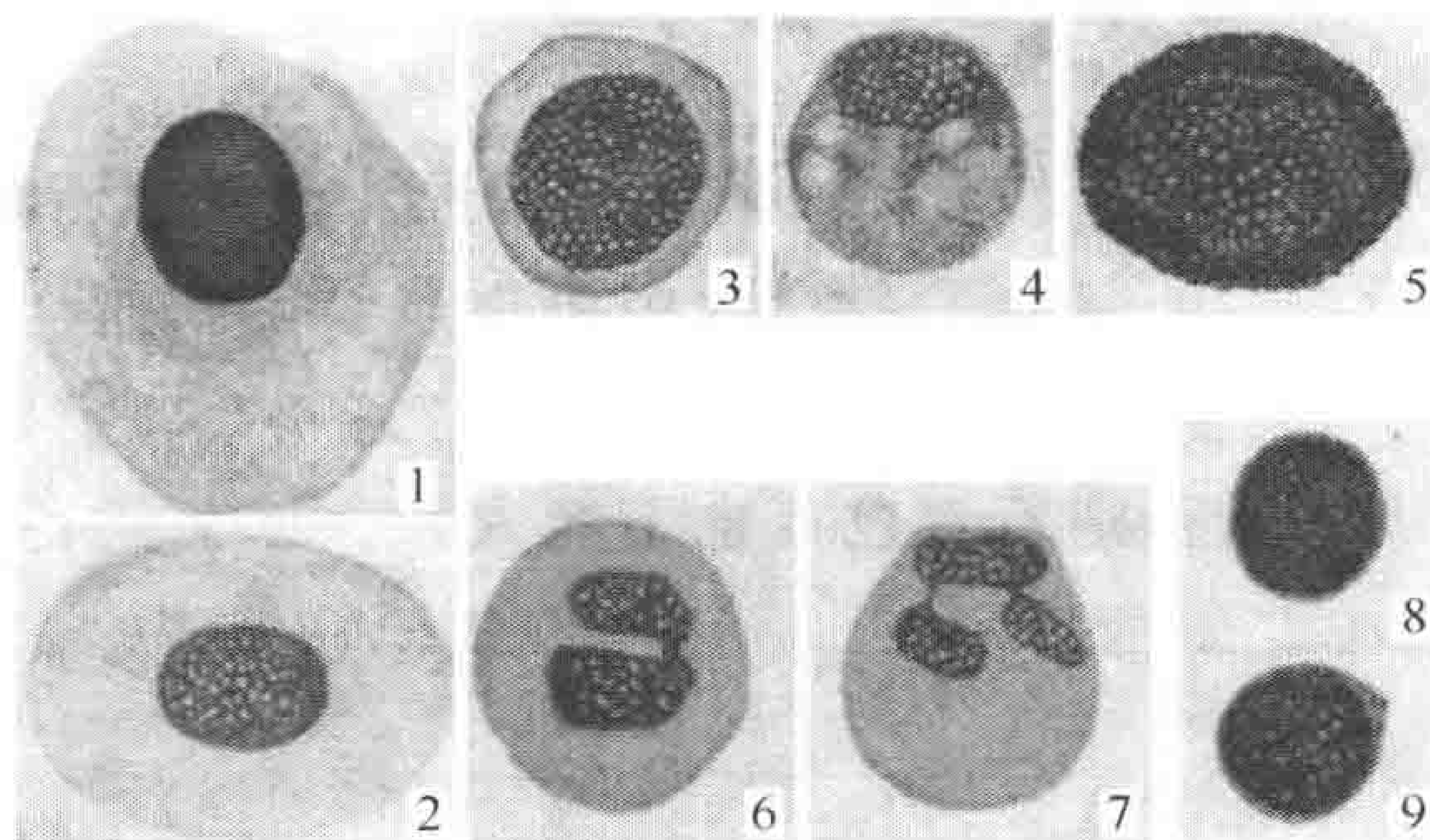


图 5-3-1 鲤鱼的血细胞（Wright 染色）

1. 中性粒细胞（大细胞）；2. 红细胞；3. 淋巴细胞；4. 中性粒细胞；5. 嗜碱性粒细胞；6. 嗜酸性粒细胞；7. 嗜酸性多核粒细胞；8、9. 小淋巴细胞；1～9，×3000

【动物与器械】

白鲫鱼；载玻片（2 片）、滴管、吸耳球、显微镜、一次性采血注射器（5mL）、针头（6 号）、擦镜纸、瑞氏染色液、香柏油、二甲苯、双草酸盐抗凝剂。

【方法与步骤】

1. 制作血涂片

先用双草酸盐抗凝剂润湿采血注射器，用注射器从鱼尾静脉采集鱼血，由载玻片一端承接约 3mm 直径的血滴，将此载玻片 1 保持水平。速取另一边缘平整的洁净载玻片 2，将其前端放在血滴前，与载玻片 1 保持约 40°并稍向后移与血滴接触，即见血液沿载玻片 2 下缘散开。此时将载玻片 2 沿载玻片 1 平面平稳的向前推动，至血液铺完血膜为止。挥动载玻片 1 使血膜快干（图 5-3-2）。用蜡笔将血膜边缘圈上以备染色。

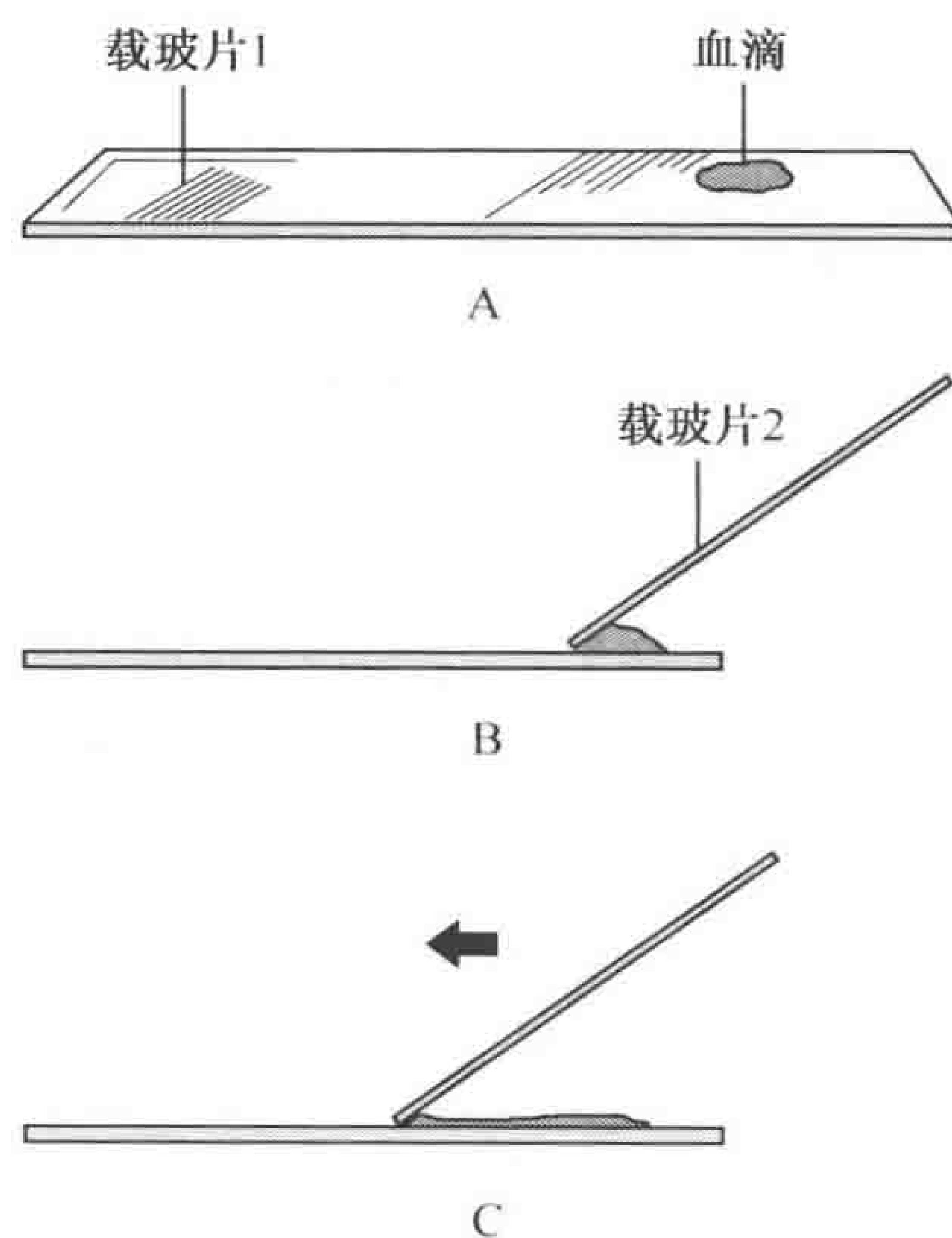


图 5-3-2 涂血片的制作过程

A. 滴 1 滴血在距载玻片 1 末端约 1.3cm 处；B. 载玻片 2 与载玻片 1 成 30°～40°角，以载玻片 2 的末端接触血滴，使血液延相接的边缘扩散开；C. 平衡地将载玻片 2 推动至载玻片 1 的另一末端。（血液应在到达载玻片 1 末端前被涂完）

2. 瑞氏（Wright）染色

将试剂盒染色甲液（染液）滴满血膜染色区，染色 1～2min。滴加乙液（缓冲液），勿溢出染色区，保持 5～10min。用自来水轻轻冲洗掉染液，至血膜显淡红色，甩干或晾干载玻片后在显微镜下观察白细胞形态。

3. 使用显微镜观察血涂片

在显微镜下，按一定的方向移动载玻片，有条理地进行扫描（从涂布区域的边缘开始，由一

侧向另一侧往返扫描)。依据各类白细胞的组织特征,对观察到的细胞进行归类。

4. 列表计数你所观察到的各类白细胞的数量,直至白细胞总数达到 100 个。按照以下的公式,计算各类白细胞所占的百分比例,记录结果。

$$白细胞的比例=\frac{统计此类白细胞的个数}{白细胞的总数(100个)}\times 100\%$$

【注意事项】

1. 载玻片盛血后要立即推片,以免血液凝固;推片要快速而均匀。

2. 标准的血涂片为均匀的薄层,若涂片中出现条纹,则血样可能已发生凝结,需重新制片。

3. 染色时间不能太短,否则不着色;也不能太长,以免染色过深,很难区分细胞类型。

【思考题】

1. 白细胞分类计数有什么意义?

2. 鱼类各种白细胞的比例与人有没有差别?

实验 5-4　血 型 鉴 定

【目的要求】

1. 掌握 ABO 血型和 Rh 血型鉴定的原理和基本方法。

2. 复习血型划分的依据及输血的一般原则。

【原理】

血型通常是指红细胞膜上特异性抗原的类型。血型与输血密切相关,当不相容的两种血型混合时,血清中的抗体(凝集素)可与红细胞膜上相应的抗原(凝集原)结合,发生红细胞凝集。因此输血前必须进行血型鉴定和交叉配血实验,以确保安全。

ABO 系统和 Rh 系统是最具临床意义的血型系统。根据红细胞膜上是否存在凝集原 A 和凝集原 B 可将血液区分为 A、B、AB、O 4 种血型,即为 ABO 血型系统。Rh 阳性和阴性的区分通常以红细胞上是否含有 D 抗原来判断。

【实验器械】

载玻片、双凹片、一次性刺血针、标准血清(抗 A、抗 B 血清)、抗 Rh 血清(抗 D 血清)、Rh 血型鉴定盒、75%酒精棉球、牙签、蜡笔、显微镜。

【方法与步骤】

1. 在双凹片左下角标注"抗 A",右下角标注"抗 B"。在载玻片的下端标注"抗 Rh"。

2. 在双凹片的左半区滴 1 滴抗 A 血清,右半区滴 1 滴抗 B 血清;在载玻片的中央滴 1 滴抗 Rh 血清。

3. 用酒精消毒指尖,刺血针刺破后擦去第一滴血,随后各取 1 滴血滴在双凹片的左右两侧和载玻片的中央。用牙签迅速搅匀样品。将载玻片置于 Rh 血型鉴定盒上轻轻摇动(Rh 血型鉴定所需温度比 ABO 血型鉴定略高)。

4. 2min 后观察三个样品中有无块状凝结物产生,记录观察结果。

5. 根据双凹片的观察结果，判断你在ABO血型系统中的血型（图5-4-1）。若在载玻片中观察到凝块，说明血样属Rh阳性，若无则为Rh阴性。记录实验结果。

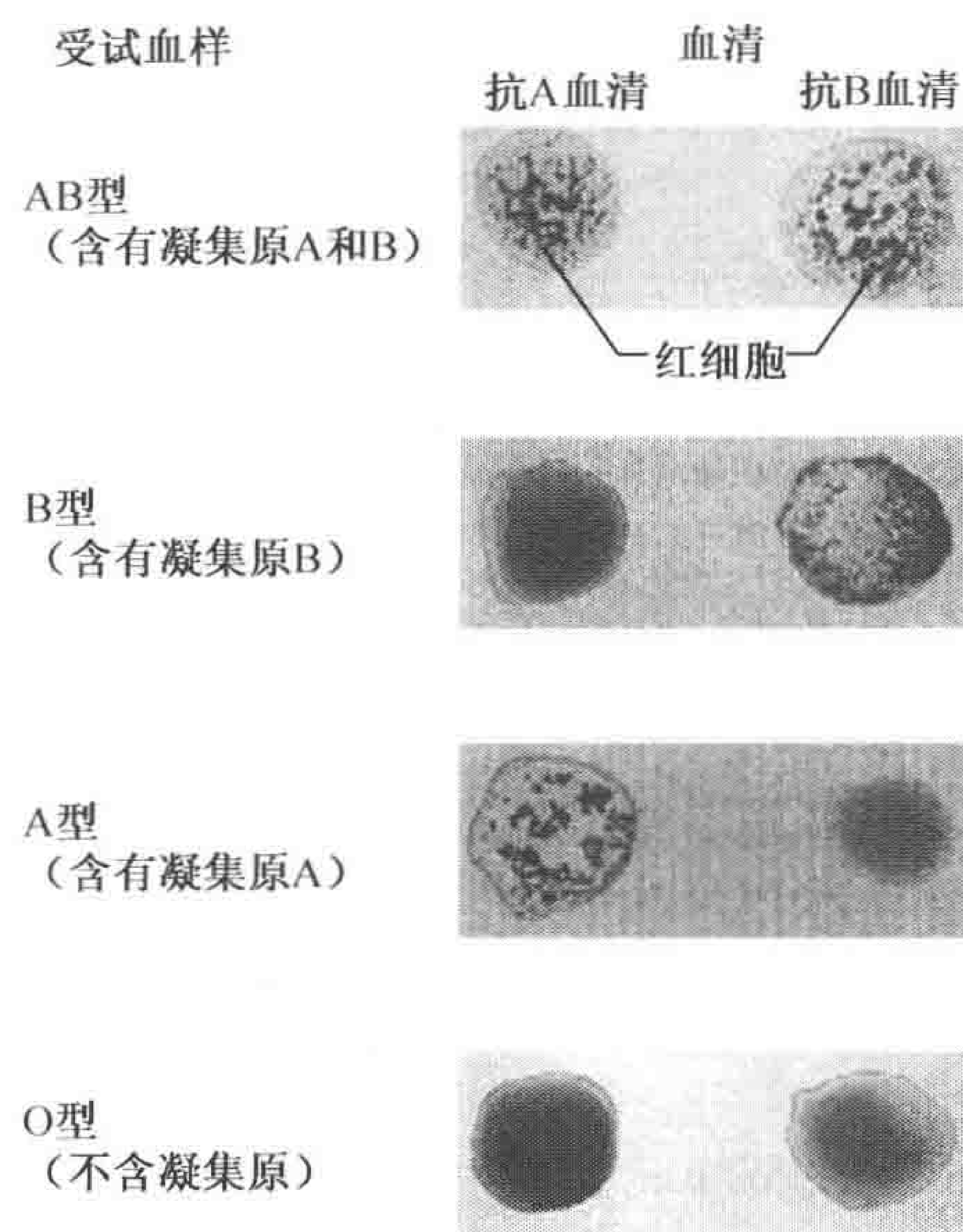


图5-4-1　血型鉴定结果

【注意事项】

1. Rh血型鉴定阳性的凝块细小，应在显微镜下观察。

2. 操作时，不同的血清使用的滴管和搅拌用的牙签应严格区分，避免相互污染。

【思考题】

1. 根据自己的血型，说明你能接受何种血型输血和能将血液输给何种血型的人。

2. 过去说AB型血的人是“万能受血者”，此种说法的依据是什么？有何不足？临床输血时，哪些血型系统是必考虑的？

第六章 循　　环

心脏和血管组成机体的循环系统，血液在其中按一定的方向流动，周而复始，称为血液循环。心脏是推动血液循环的动力器官，心房和心室不停地进行有序的、协调的收缩和舒张交替的活动，是心脏实现泵血功能的必要条件，而心肌细胞的动作电位则是触发心肌收缩和泵血的动因。

心肌细胞具有兴奋性、自律性、传导性和收缩性 4 种基本的生理特性，这些特性决定了整个心脏活动的表现和特点。

兴奋性、自律性和传导性都是以细胞膜的生物电活动为基础的，称为电生理特性。心肌细胞膜的生物电活动通过容积导体引导和记录下来，成为心电图。心电图可反映心脏兴奋的产生、传导和兴奋恢复过程中的生物电变化，而与心脏的机械收缩活动无直接关系。

心脏一次收缩和舒张，一次泵血，构成一个机械活动周期，称为心动（搏）周期。在一个心动（搏）周期中，心房与心室的机械活动都可分为收缩期和舒张期。心脏的主要功能是泵血，而泵血功能的评价，常用心输出量和心脏做功等作为指标。心输出量等于搏出量与心率的乘积，凡是能影响搏出量和心率的因素，例如心肌的前负荷、后负荷和收缩能力等均可影响心输出量。由心脏泵出的血液流经动脉、毛细血管和静脉相互串联构成血管系统，血液在血管中流动的一系列问题与血流量、血流阻力和血压有关。微动脉和微静脉之间毛细血管部分的微循环，实现了血液与组织之间的物质交换。

在完整机体中，血液循环功能受神经体液因素的调节，心肌和血管平滑肌均接受自主神经的支配，机体对心血管活动的神经调节是通过各种心血管反射实现的。心血管功能活动的体液调节是指血液和组织液中的一些化学活性物质对心肌和血管平滑肌的活动产生影响，并起调节作用。这些体液因素中，有些是通过血液携带的，可广泛作用于心血管系统；有些则在组织中形成，主要作用于局部的血管，对局部组织的血流起调节作用。

本章的实验内容从各个方面检测和探讨血液循环的功能。部分实验综合性很强，反映出心血管功能的复杂性；部分实验以两栖类动物为实验对象，降低了实验的难度和实验控制的条件，但仍能显现出高等动物的心血管活动的基本规律，有助于研究与学习。通过实验，可以全面了解心血管的主要功能活动，加深对实验设计和理论知识的理解。掌握对容积导体中电活动的测量与分析方法，掌握动物在体与离体心脏灌流的技术方法，掌握动物在体实验的基本手术过程和相关实验技术，如动物的麻醉、血管神经的分离、动静脉插管等。

实验 6-1　蛙类心脏收缩与电兴奋的关系

【目的要求】

了解心脏电活动与机械活动的时相关系。

【原理】

两栖动物蛙类的心脏结构为二心房、一心室（图 6-1-1），位于其背部膨大的静脉窦是心脏的起搏点，发挥着与人体内窦房结相似的作用，因此心脏活动的节律主要决定于静脉窦的节律。利用传感器和计算机采集系统将心脏的活动以张力变化的形式描记下来，得到的曲线称为心搏曲线。在描记心搏曲线的同时，用心电图记录心脏的生物电变化，可用于观察心脏的机械收缩与电变化之间的关系。

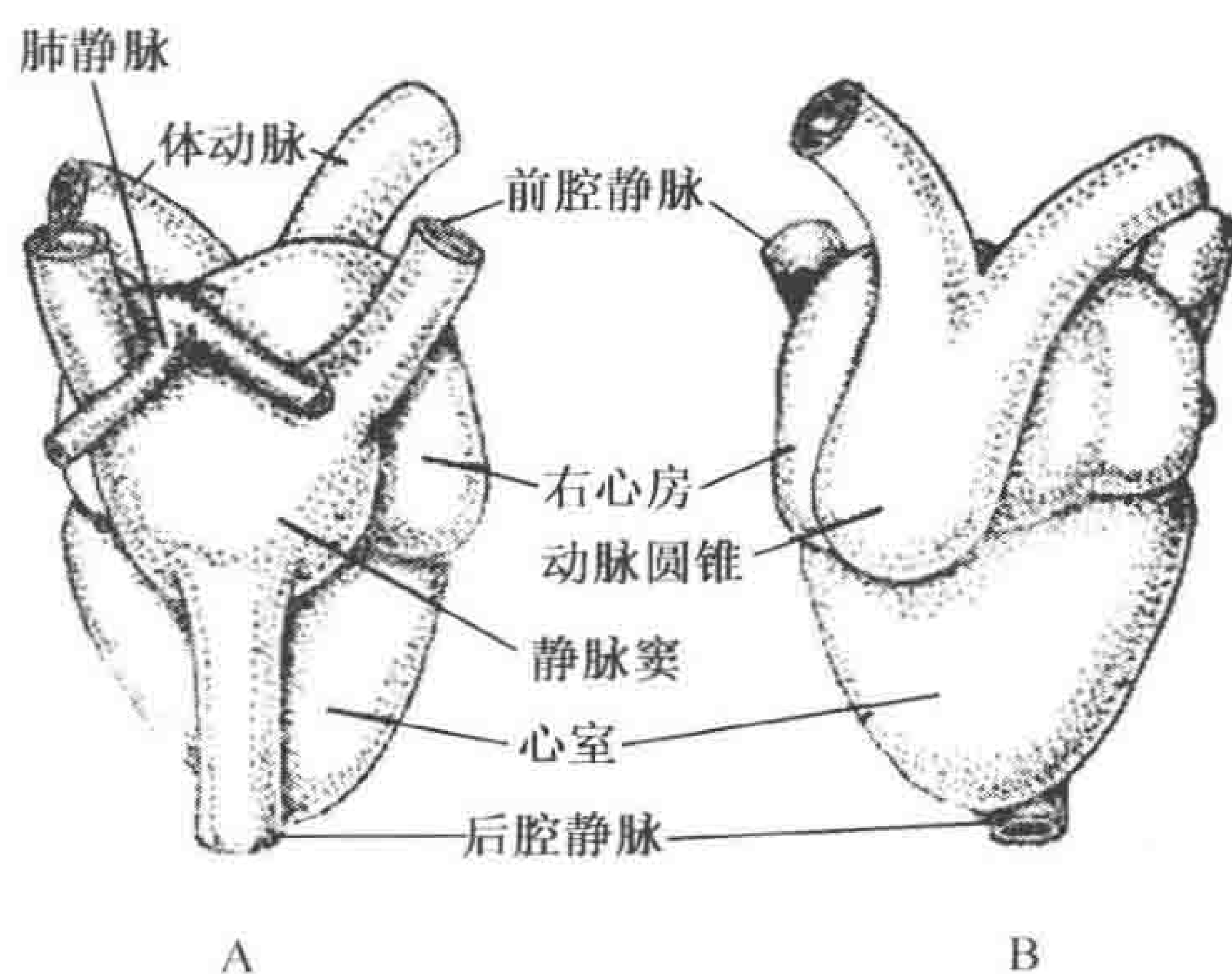


图 6-1-1　蛙心解剖图

A. 背面观；B. 腹面观

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器、支架、一维位移微调器、双凹夹、蛙心夹、蜡盘、固定针、滑轮、大头针、刺蛙针、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 实验准备。打开计算机采集系统，接通张力换能器输入通道。

2. 取青蛙或蟾蜍一只，双毁髓后背位固定于蛙板上。左手持手术镊提起胸骨后方的皮肤，右手持手术剪剪开一个小口，然后将剪刀由开口处伸入皮下，向左、右两侧下颌角方向剪开皮肤。将皮肤掀向头端，再用手术镊提起胸骨后方的腹肌，在腹肌上剪一个口，将粗剪刀紧贴胸壁伸入胸腔（勿伤及心脏和血管），沿皮肤切口方向剪开胸壁，剪断左右鸟喙骨和锁骨，使创口呈一倒三角形。左手持眼科镊，提起心包膜。右手用眼科剪刀剪开心包膜，暴露心脏。

3. 用蛙心夹夹住心尖部，将蛙心夹上的系线绕过滑轮与张力传感器相连（图 6-1-2）。调节滑轮位置，使心脏不离开体腔且能记录心搏曲线。调节扫描速度与心搏曲线的幅度适中。

4. 将引导心电的两个电极夹，分别夹住刺入上下肢皮下的大头针。接通动物心电输入通道，观察心电信号。如果信号不大，可调节显示器增益，直到出现明显的心电图信号（图 6-1-3）。



图 6-1-2　实验装置连接图

蛙的四肢用蛙钉固定在蜡盘上

5. 调节两个通道的扫描速度使其一致。用比较显示方式，仔细观察心电图的 P 波与心房收缩波、QRS 波群与心室收缩波在时间上的相关性。

【注意事项】

1. 一定不能使刺蛙针刺入胸腔、腹腔；毁髓要彻底；尽量减少失血，以维持蛙心活力。

2. 在进行实验时，要使心脏不离开体腔。并注意适时用任氏液润湿蛙心。

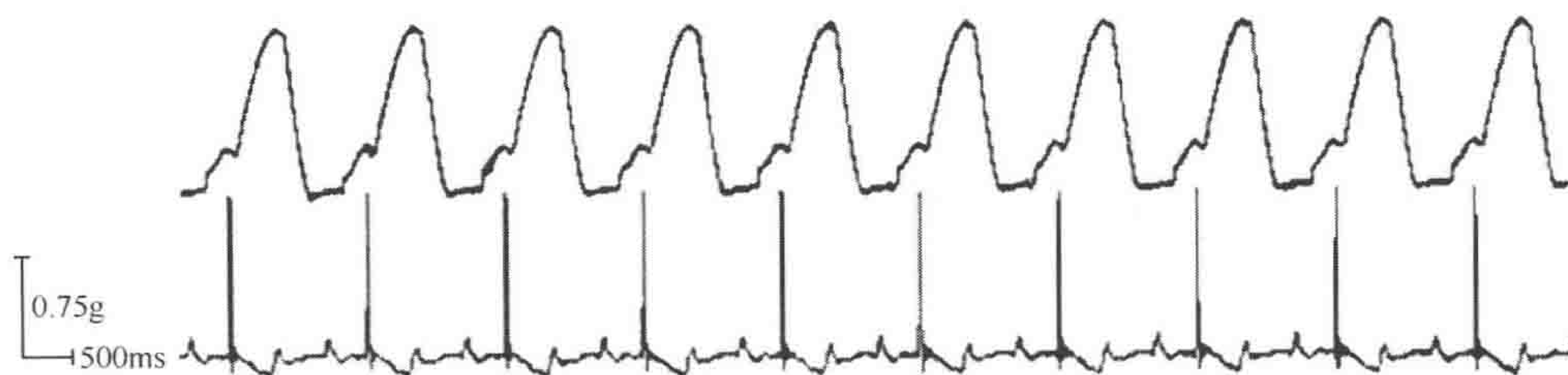


图 6-1-3　蛙心搏曲线与心电同步记录

3. 在用蛙心夹夹心尖部时，应准确快速，避免多次夹持导致心脏受损。

4. 为了减少肌电干扰，大头针必须尽量插到四肢上肌肉最少的地方。

5. 注意调节扫描速度与心搏曲线的幅度适中。调节两个通道的扫描速度一致，使之具有可比性。

【思考题】

1. 分析实验结果，P 波早于心房收缩波、QRS 波群早于心室收缩波说明什么？

2. 根据学过的理论，说明心脏发生收缩反应之前的生理过程。

实验 6-2　蛙类心室肌的期前收缩与代偿间歇

【目的要求】

1. 观察心室收缩活动的不同时相对额外刺激的反应。

2. 了解心肌的生理特性。

3. 掌握心肌期外收缩产生的条件，阐明代偿间歇出现的机理。

【原理】

心肌不会像骨骼肌那样产生完全强直收缩，而是始终作收缩和舒张相交替的活动，从而使心脏有血液回心充盈的时期，这样才可能实现其泵血功能。

这是因为心肌细胞的有效不应期特别长，一直延续到机械反应的舒张期开始之后。因此，只有到舒张早期之后，兴奋性变化进入相对不应期，才有可能在受到强刺激作用时产生兴奋和收缩。从收缩开始到舒张早期之间，心肌细胞不会产生第二次兴奋和收缩。实验可以说明心肌组织的这一特点。正常情况下，窦房结产生的每一次兴奋传递到心房肌或心室肌的时间，都是在它们前一次兴奋的不应期终结之后，因此，整个心脏能够按照窦房结的节律而兴奋。但如果心室在有效不应期之后受到人工的或窦房结之外的病理性异常刺激，则可产生一次期前兴奋，引起期前收缩或额外收缩。

期前兴奋也有它自己的有效不应期，这样当紧接在期前兴奋之后的一次窦房结兴奋传到心室肌时，常常正好落在期前兴奋的有效不应期内，因而不能引起心室兴奋和收缩，形成一次“脱失”，必须等到再下一次窦房结的兴奋传到心室时才能引起心室收缩。这样，在一次期前收缩之后往往出现一段较长的心室舒张期，称为代偿性间歇。随之，才恢复窦性节律。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器、支架、一维

位移微调器、双凹夹、蛙心夹、蜡盘、固定针、双针形露丝刺激电极、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液。

【方法与步骤】

1. 打开计算机采集系统，连接张力换能器，双针形露丝刺激电极与刺激输出端相连。

2. 按实验 6-1 中的方法暴露蛙心，用蛙心夹夹住心尖少许肌肉，提起蛙心。将蛙心夹与张力换能器的应变梁孔相连，记录心搏曲线。将双针形露丝刺激电极安放在心室外壁，使之既不影响心搏又能同心室紧密接触，如图 6-2-1。

3. 实验前先描记一段正常的心搏曲线作为对照。选择能引起心室发生期外收缩的刺激强度，分别于心室收缩期和舒张期的早、中、晚时期给予单个刺激，观察心搏曲线的变化，如图 6-2-2。

4. 加大刺激强度，观察心室肌对额外刺激的反应。

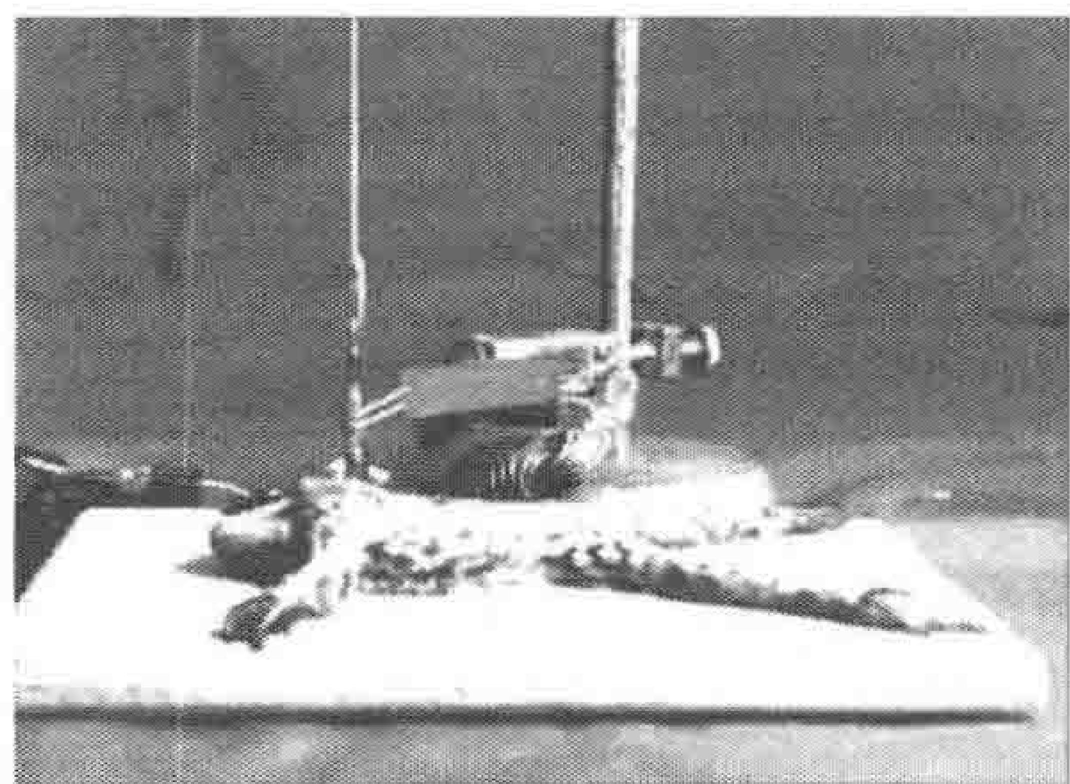


图 6-2-1 刺激电极安放示意图

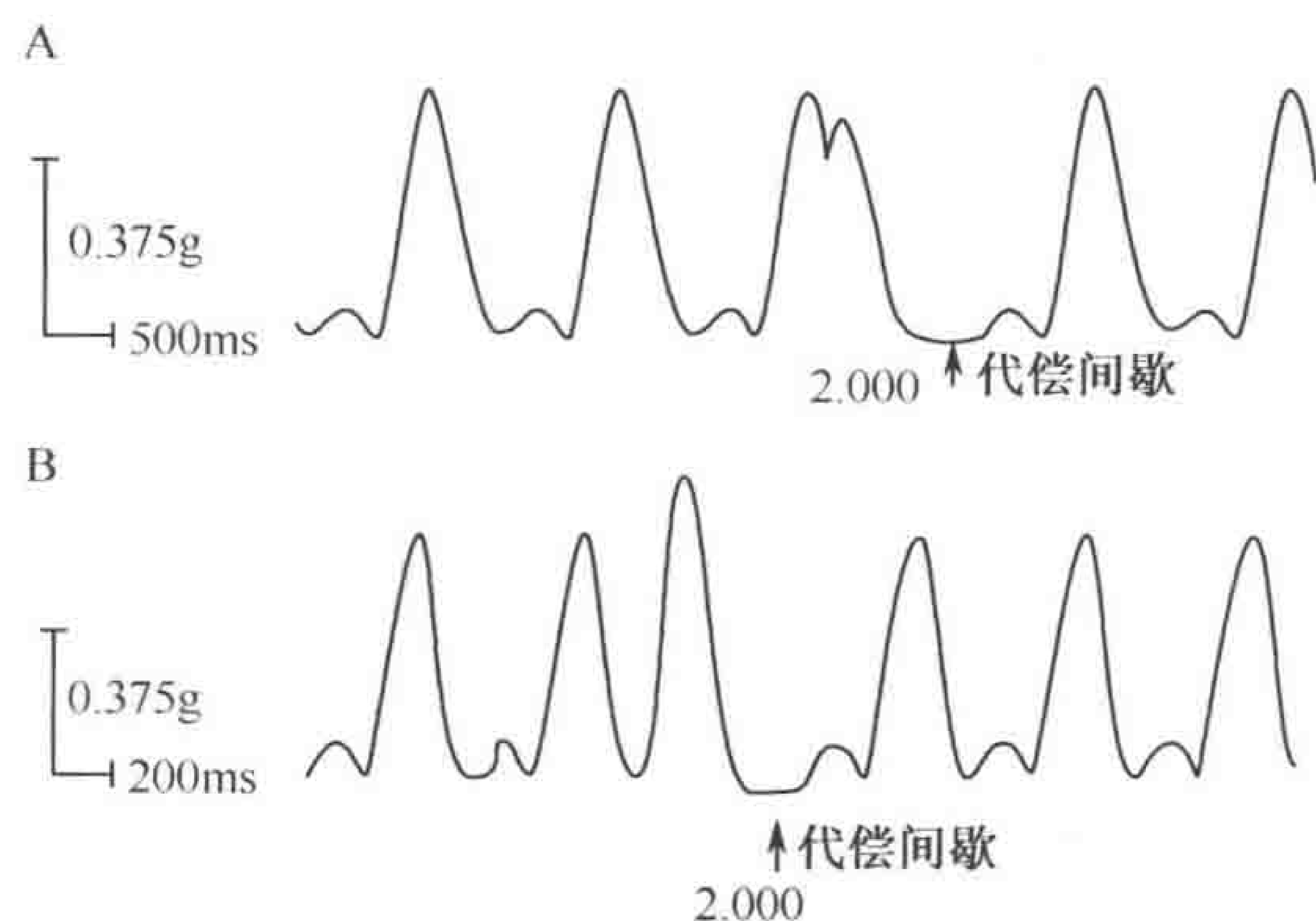


图 6-2-2 期外收缩与代偿间歇

A. 刺激落在舒张早期偏后；B. 刺激落在舒张晚期

【注意事项】

1. 一定不能使刺蛙针刺入胸腔、腹腔；毁髓要彻底；尽量减少失血，以保持蛙心活力。

2. 注意滴加任氏液，以保持心脏表面的润湿。

3. 在用蛙心夹夹心尖部时，应准确快速，避免多次夹持导致心脏受损。

【思考题】

1. 如何证实心肌有较长的不应期？心肌的较长不应期有何生理意义？

2. 代偿间歇是怎样产生的？期前收缩后一定出现代偿间歇吗？为什么？

实验 6-3 蛙类心脏的神经支配

【目的要求】

1. 了解青蛙或蟾蜍心脏的神经支配。

2. 观察迷走交感神经干对心脏活动的影响。

【原理】

心脏受迷走神经和交感神经的双重支配。正常情况下，心交感神经兴奋时表现为正

性的变时、变力和变传导作用，使心脏搏动增强加快；迷走神经兴奋时，表现为负性的变时、变力和变传导作用，使心房收缩减弱变慢。

蛙体内的迷走神经和颈交感神经混合成迷走交感神经干，受到低频、低强度电刺激时主要产生迷走效应，刺激后期或加大刺激强度时则易产生交感效应。这主要是由于迷走神经的兴奋性较高，且肾上腺素能使纤维末梢受到乙酰胆碱的突触前调节作用。若滴加阿托品封闭迷走神经对心脏的影响，则可表现为单纯的交感效应。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100型张力换能器、支架、一维位移微调器、双凹夹、蛙心夹、蜡盘、固定针、保护电极、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液、阿托品。

【方法与步骤】

1. 取青蛙或蟾蜍一只，双毁髓后背位固定在蜡盘上。在一侧下颌角与前肢之间剪开皮肤，分离深部的结缔组织后，可以看到一条长形的提肩胛肌，切断此肌即能看到血管神经束，其中含有皮动脉、颈静脉和迷走交感神经干，分开血管神经束，用玻璃分针提起迷走交感干，穿线备用（图 6-3-1）。

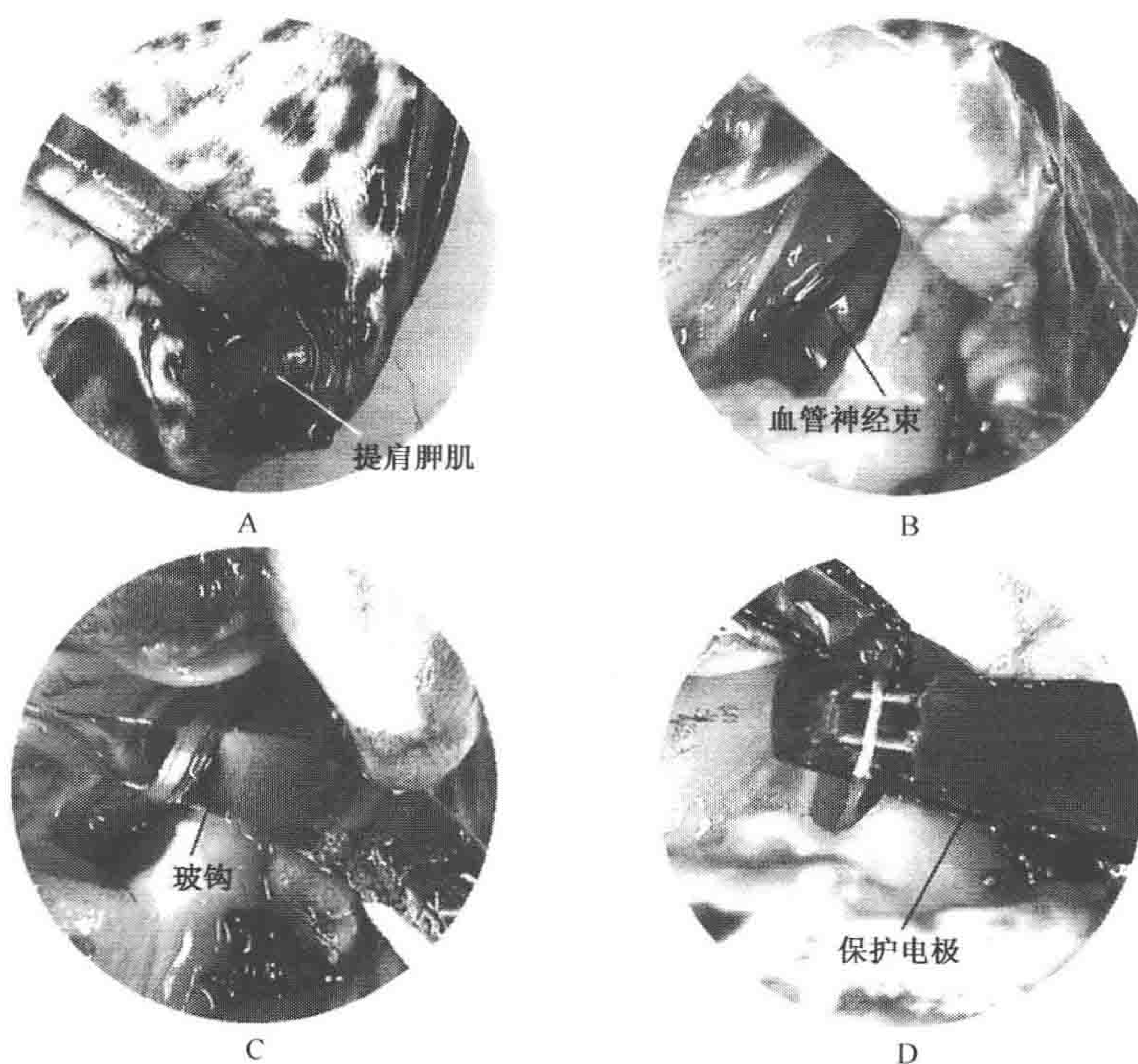


图 6-3-1　分离蛙的心迷走交感神经干

A. 蛙下颌角处的提肩胛肌；B. 血管神经束（皮动脉-颈静脉-心迷走交感混合神经干）；C. 用玻璃分针游离神经；D. 将游离的神经挂上电极

2. 自剑突剪开胸骨柄，暴露心脏，剪开心包膜，用蛙心夹夹住心尖，连接张力传感器。用线将神经提起，再将保护电极仔细地安放在迷走交感神经干上（图 6-3-2）。

3. 开启计算机采集系统，调节扫描速度 1.0s/div，描记一段正常心搏曲线。调节

适当的刺激强度（如 1.5V），延时最小，用连续单刺激模式刺激迷走交感神经干，观察心搏活动的变化（图 6-3-3C）。

4. 用蘸有阿托品溶液的棉球包裹住静脉窦和心房部位。5min 后，再用原刺激强度刺激神经干，观察并记录心搏活动的变化。这时由于阿托品封闭迷走神经对心脏的作用，迷走效应不会出现，而表现单纯的交感效应（图 6-3-3A）。

5. 最后较大幅度地增大刺激强度和刺激频率，观察并记录心搏活动的变化。主要观察其交感效应（图 6-3-3B）。

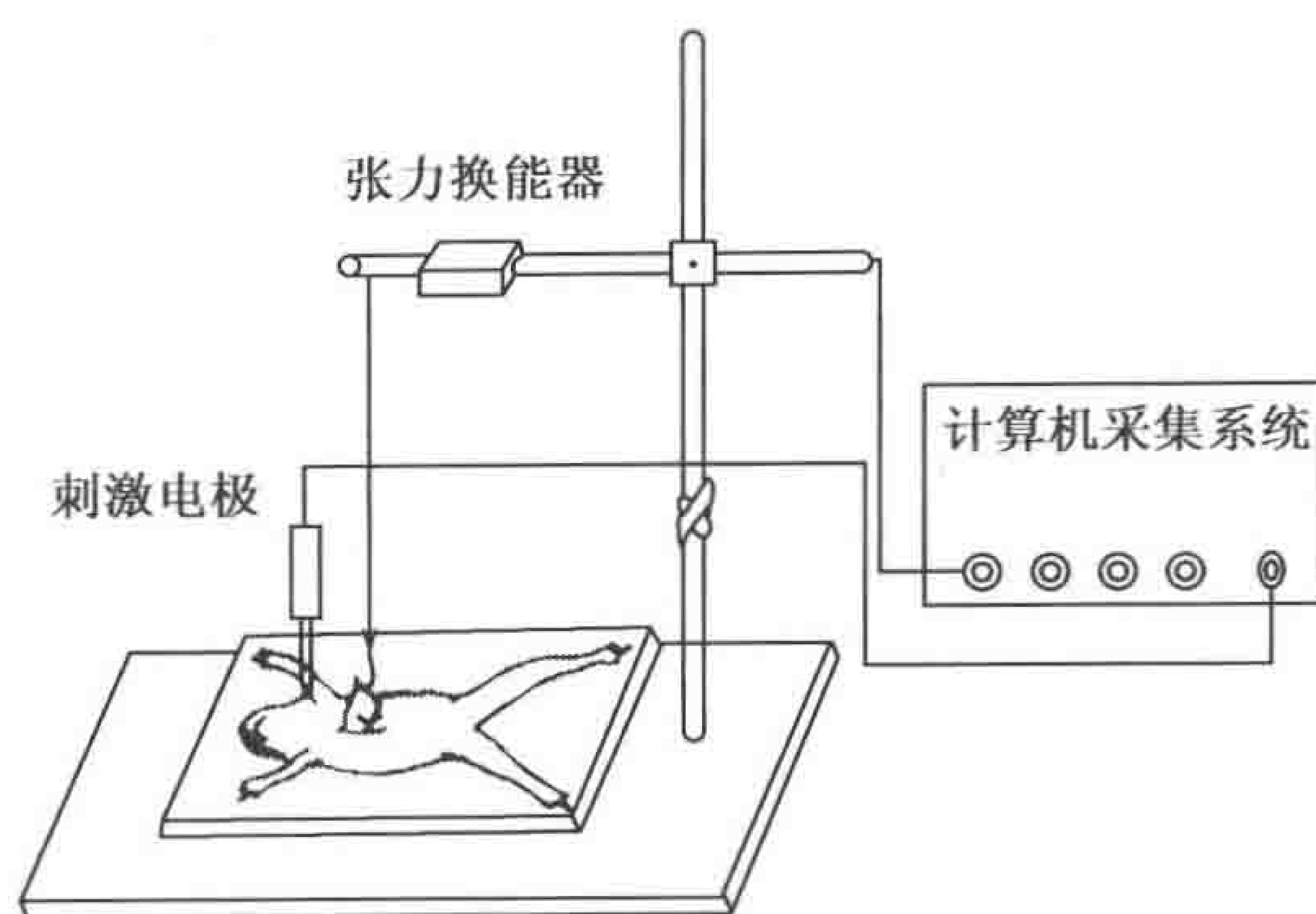


图 6-3-2　实验装置示意图

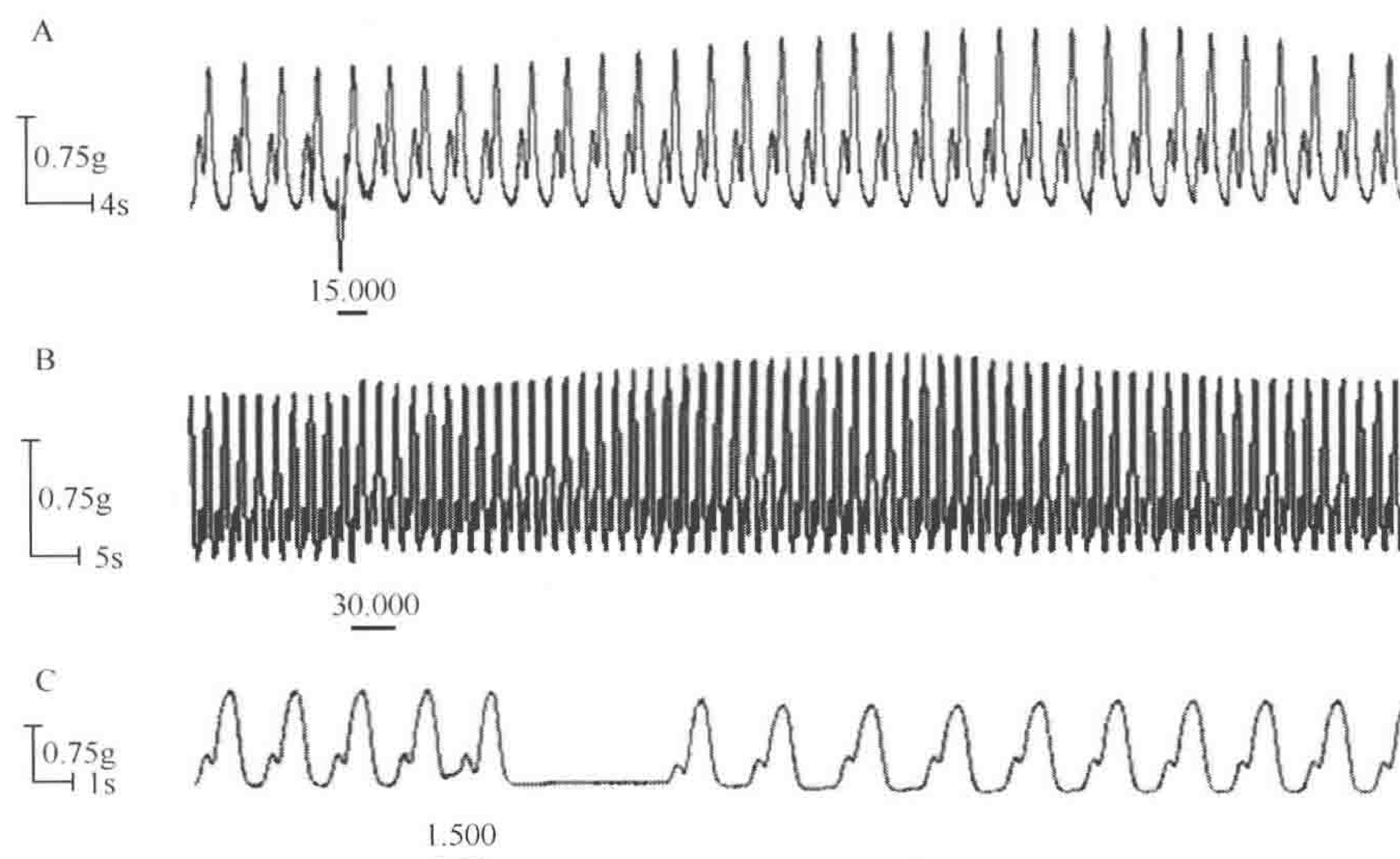


图 6-3-3　心交感效应（A，B）和心迷走效应（C）

【注意事项】

1. 神经周围的组织液需用棉球吸干，以防短路或电流扩散。

2. 每次刺激的时间不能过长，两次刺激之间必须间隔 3～5min，以防损伤神经。

3. 需常用任氏液湿润神经和心脏，防止组织干燥而失去生理机能。

4. 交感神经和迷走神经的效应往往随季节、气温和动物个体而变化，在实验过程中需灵活掌握。

5. 在神经下穿线是为了提起神经，便于安放保护电极，不能打结。

【思考题】

刺激迷走交感神经干时，为什么只显示出迷走效应？在心脏滴加阿托品，心搏为什么发生改变？其机理是什么？

实验 6-4　蛙类离体心脏灌流

【目的要求】

1. 学习斯氏离体蛙心灌流法。

2. 了解心肌的生理特性。

3. 观察 Na^+、K^+、Ca^+、肾上腺素（Adr）及乙酰胆碱（ACh）等对离体心脏活动的影响。

【原理】

将离体蛙心（失去了神经支配的蛙心）保持在适宜的环境中，在一定时间内仍能维持节律性收缩，这是由于静脉窦能自动地产生节律性兴奋，通过传导组织最终作用于心肌细胞并引起收缩。离体蛙心的人工灌流实验，可用于研究心脏活动及规律，还可观察灌流液成分的改变对离体心脏活动的影响。制备离体蛙心的方法主要有单管法和双管法两种，本实验介绍较简单常用的斯氏单管法（图 6-4-1）。

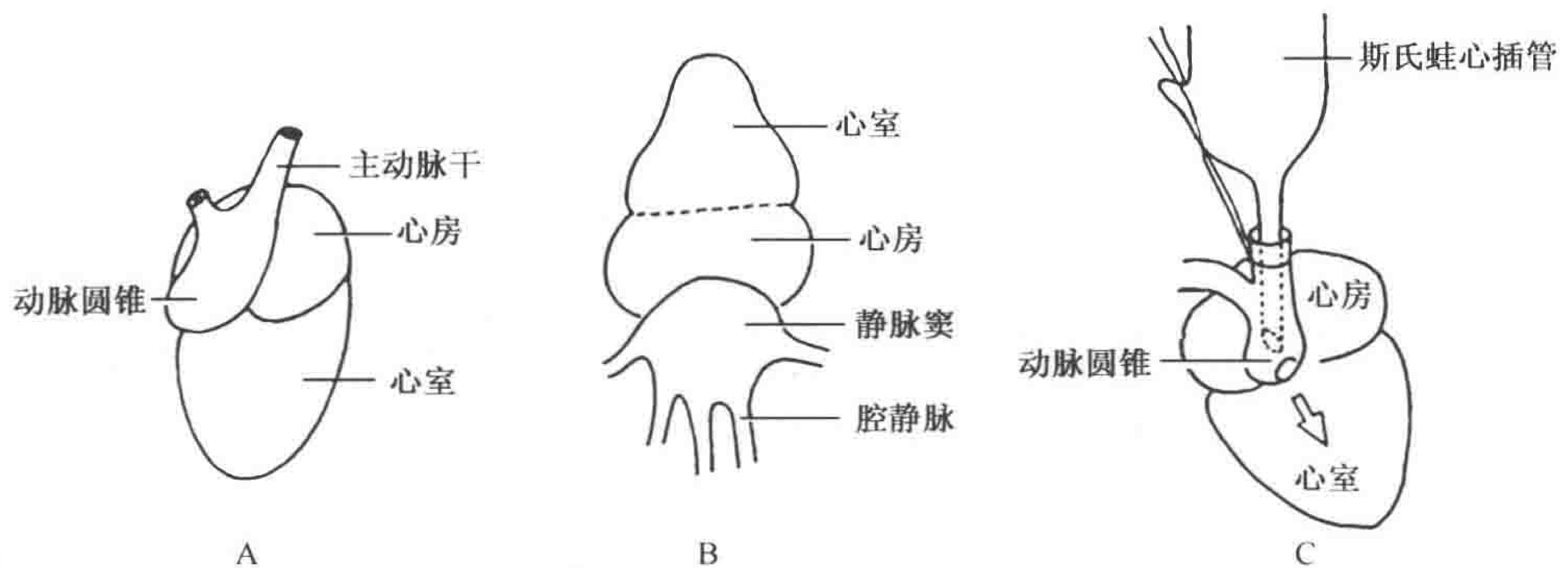


图 6-4-1　蛙心结构与蛙心插管示意图

A. 蛙心腹面观；B. 蛙心背面观；C. 斯氏蛙心插管沿左主动脉插入心室

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；斯氏蛙心套管、常用手术器械、蛙心夹、套管夹、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器、万能滑轮、蜡盘、滴管、培养皿、小烧杯、任氏液、0.65%NaCl 溶液、5%NaCl 溶液、2%$CaCl_2$ 溶液、1%KCl 溶液、1∶10 000 肾上腺素溶液、1∶10 000 乙酰胆碱溶液、300U/mL 肝素溶液。

【方法与步骤】

1. 斯氏蛙心插管法

（1）取一只青蛙或蟾蜍，双毁髓后背位置于蜡盘中，暴露心脏。仔细识别心脏周围的大血管。在左主动脉下方穿一根线，距动脉圆锥 2～3mm 处结扎。再从左、右两条主动脉下方穿一根线，打一活结备用。左手提起左主动脉上的结扎线，右手用眼科剪在动脉圆锥前端，沿向心方向剪一斜口，然后将盛有少量加有肝素的任氏液的斯氏蛙心套管由此开口处插入动脉圆锥。当套管尖端到达动脉圆锥基部时，应将套管稍稍后退，使

尖端向动脉圆锥的背部后方及心尖方向推进。经主动脉瓣插入心室腔内（于心室收缩时插入）。不可插得过深，以免心壁堵住套管下口。此时可见套管中液面随心脏搏动而上下移动，用滴管吸去套管中的血液，更换新鲜任氏液，提起备用线，将左、右主动脉连同插入的套管扎紧（不得漏液），再将结线固定在套管的小玻璃钩上。剪断结扎线上方的血管。轻轻提起套管和心脏，在心脏下方绕一线，将左右肺静脉、前后腔静脉一起结扎，注意保留静脉窦与心脏的联系，切勿损伤静脉窦，于结扎线的外侧剪去所有相连的组织，将心脏离体。用任氏液反复冲洗心室内余血，使灌流液中不再有血液。保持套管内液面高度恒定（1.5～2cm），即可进行实验。

（2）将插好离体心脏的套管固定在支架上，用蛙心夹夹住心尖（不可夹得过多，以免漏液）。再将蛙心夹上的系线绕过一个滑轮与张力换能器相连，如图 6-4-2。注意：勿使灌流液滴到换能器上。调节显示器上心脏收缩曲线的幅度适中。

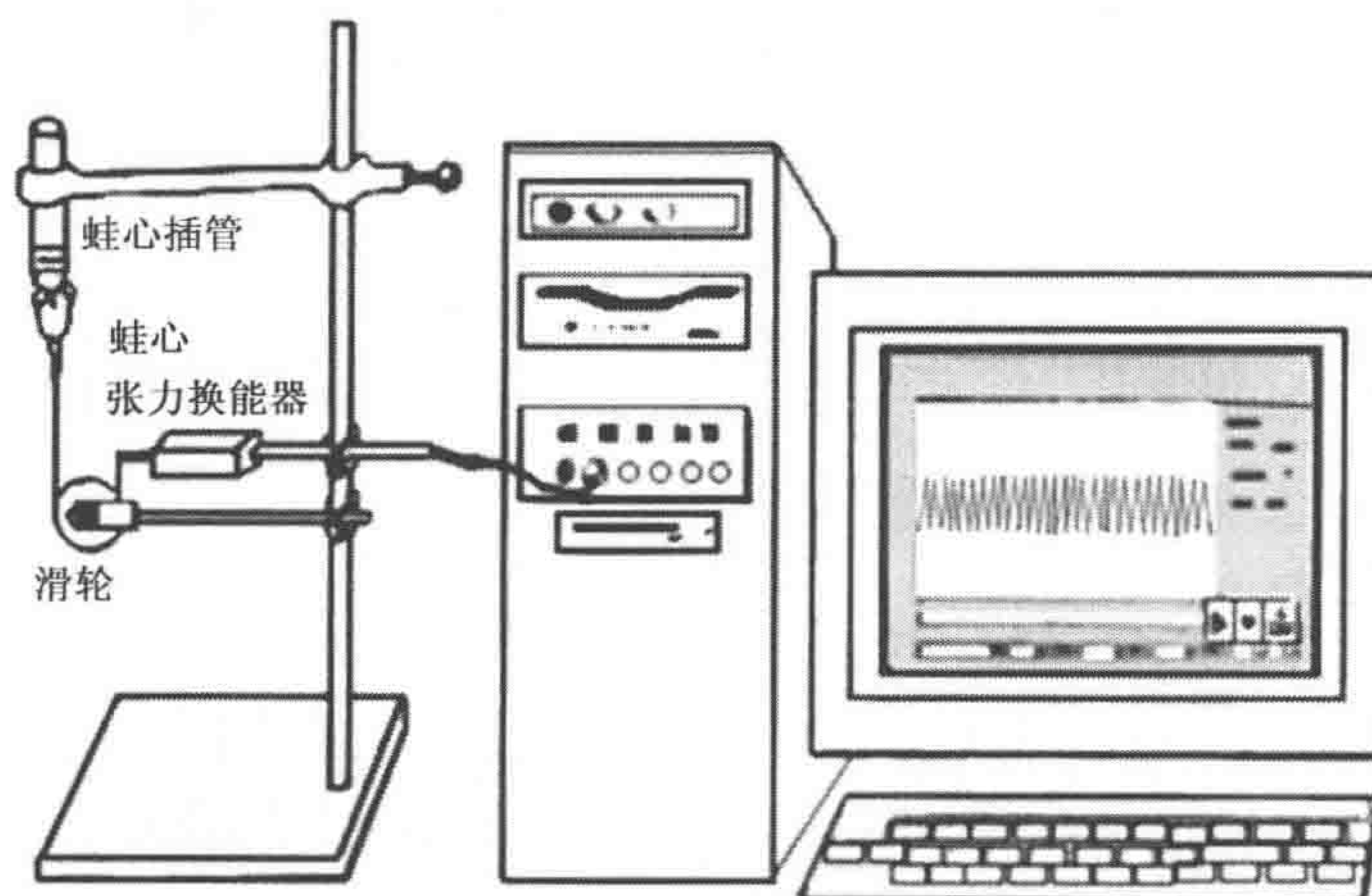


图 6-4-2　蛙心灌流的实验装置示意图

2. 实验观察

（1）记录正常心搏曲线。

（2）改用 0.65%NaCl 溶液灌流，并做好加药标记，观察心搏变化。待曲线出现明显变化时，立即吸去套管中的灌流液，同时做好冲洗标记，并用新鲜任氏液清洗 2～3 次，待心搏恢复正常。

（3）向套管内加 2～6 滴 5%NaCl 溶液，做好加药标记，观察心搏曲线的频率及振幅的变化。当曲线出现明显变化时，立即吸去套管中的灌流液（做好冲洗标记），用新鲜任氏液清洗 2～3 次，待心搏恢复正常。

（4）向套管内加入 1～3 滴 2%$CaCl_2$溶液，观察并记录心搏曲线的变化。当出现明显变化时，立即更换任氏液（方法同上），待心搏恢复正常。

（5）向套管中加 1～2 滴 1%KCl 溶液，记录心搏曲线的变化。当心搏曲线变化时，立即同法更换灌流液，待心搏恢复。

（6）同法记录套管中加入 1～2 滴1：10 000肾上腺素溶液后心搏曲线的变化。

（7）同法记录套管中加入 1～2 滴1：10 000乙酰胆碱溶液后心搏曲线的变化（图

6-4-3）。

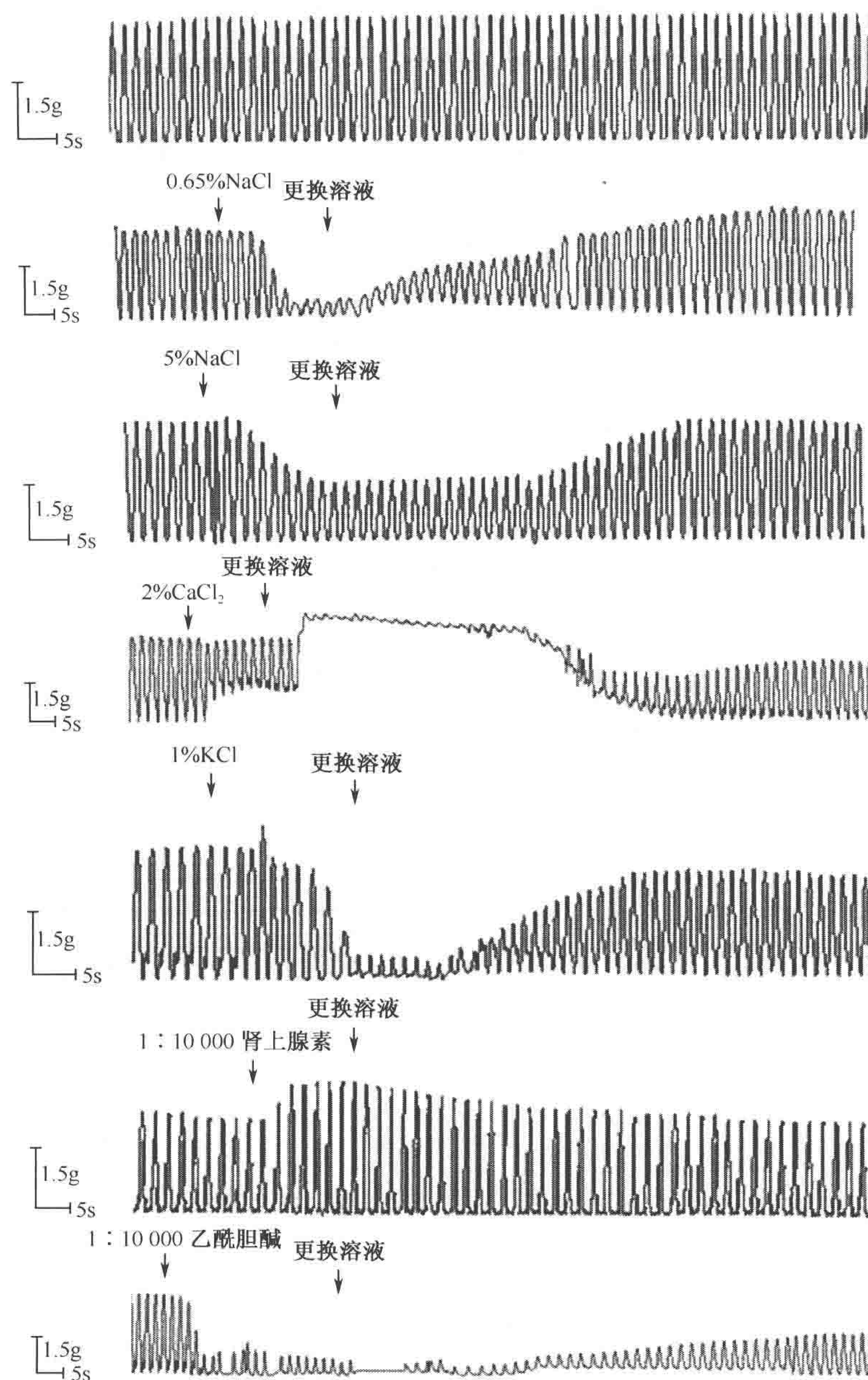


图 6-4-3　改变灌流液成分对蛙离体心脏机械活动的影响

3. 实验结果与分析

将记录的各段心搏曲线附在实验报告中，计算给药前后曲线的频率、振幅和基线变化。测量结果填入表 6-4-1。

【注意事项】

1. 制备蛙心标本时，切勿伤及静脉窦，各条结扎线一定要扎紧以免漏液或插管移出。动脉插管是否进入心室腔可通过观察液面有无波动证明。

2. 蛙心插管内液面勿过高或过低，一般在插管的下部1/3处做一标记，每次换液时，插管内液面应保持一致。

3. 各种溶液的吸管不能混用。同时，吸管不能接触插管壁，以免影响实验结果。

4. 加药后，一旦出现作用应立即用新鲜任氏液冲洗，以尽快使蛙心恢复过来，否则蛙心活性有可能因为试剂的影响或者时间的关系而受损，而且必须待心跳恢复正常后方能进行下一步实验。

5. 更换药物时，必须及时作标记，以便观察分析。

6. 每项实验都应有前后对照。

7. 加试剂时，先加1～2滴，用滴管混匀后如作用不明显时再补加，不可一次滴入过多。尤其注意加入KCl和乙酰胆碱时，更不可多加。如果加入KCl和乙酰胆碱后心跳停止于舒张状态，换液后可用滴管插至蛙心插管底部，将灌流液挤入心室，反复数次。

8. 实验过程中勿使液体进入换能器，以免损坏。

表 6-4-1　改变灌流液成分对蛙离体心脏活动的影响

实验项目		心率/(次/min)	振幅/mm	基线变化（上移或下移）	其他
0.65% NaCl	对照				
	给药				
	恢复				
5%NaCl	对照				
	给药				
	恢复				
2%$CaCl_2$	对照				
	给药				
	恢复				
1%KCl	对照				
	给药				
	恢复				
1∶5000 肾上腺素	对照				
	给药				
	恢复				
1∶10000 乙酰胆碱	对照				
	给药				
	恢复				

【思考题】

1. 离体蛙心制备好后，有时管内液面上下移动很不明显，是何原因？如何处理？

2. 实验过程中，为什么必须保持蛙心插管内液面高度的恒定？液面过高或过低会产生什么影响？

3. 各种离子成分改变蛙心收缩的机理是什么？

实验 6-5　家兔动脉血压的神经、体液调节

【目的要求】

1. 学习家兔颈部手术与分离主动脉神经的方法。

2. 学习直接测定家兔动脉血压的急性实验的方法。

3. 观察神经、体液因素对心血管活动的影响。

【原理】

动脉血压的相对恒定对于保持各组织、器官正常的血液供应和物质代谢是极其重要的。正常情况下，人和高等动物的心血管活动在神经、体液因素的调节控制下，保持相对稳定，动脉血压相对恒定。改变神经、体液因素的影响，则可观察到动脉血压的相应变化。在动物实验中，可利用动脉插管直接测量动脉血压，通过液体导联系统和压力传感器，将动脉血压的变化在计算机采集系统中描记下来（图 6-5-1）。

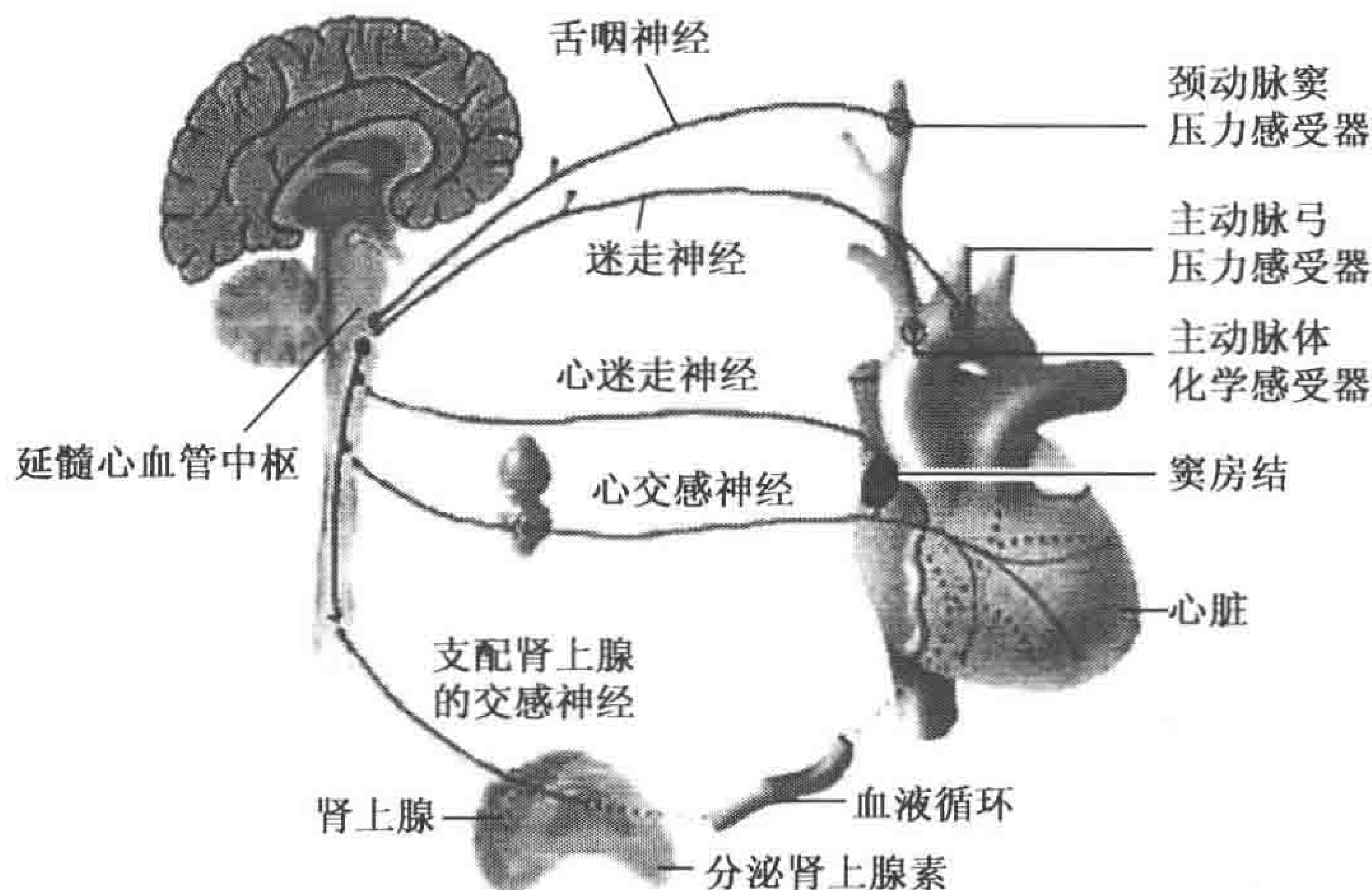


图 6-5-1　心血管功能神经体液调节的主要结构及相互关系示意图

【动物与器械】

家兔；手术台、常用手术器械、止血钳、剪毛剪、眼科剪、支架、双凹夹、动脉插管、三通管、动脉夹、计算机采集系统、YP100 血压换能器、保护电极、玻璃分针、手术灯、纱布、棉球、棉线、注射器（1mL、5mL、20mL)、石蜡油、生理盐水、25% 氨基甲酸乙酯、肝素（300U/mL)、去甲肾上腺素（1∶10 000)、乙酰胆碱（1∶10 000)。

【方法与步骤】

1. 实验仪器的准备

打开计算机采集系统 RM6240 或 BL-420，接通血压换能器。从 RM6240 系统的“实验”或 BL-420 的“实验项目”中找出“循环实验”的“家兔血压的调节”，使显示器显示压力读数。

2. 连接压力传递的导管系统

在血压换能器的直管与侧管上分别加接三通管，先用装有石蜡油的注射器，从直管与侧管排空压力传感器腔内的空气，关闭直管与侧管的三通管。再在直管上连接动脉插管，从直管的三通管向连接动脉插管的导管内推注含有肝素的生理盐水，使之充满液体（图 6-5-2）。

3. 动物准备

（1）术前准备

1）麻醉：取家兔一只，称重，耳缘静脉（图 6-5-3）缓慢注射 25％氨基甲酸乙酯（4mL/kg 体重）进行麻醉。注射时速度要慢，并注意观察动物情况。当动物四肢松软，呼吸变深变慢，角膜反射迟钝时，表明动物已被麻醉，即可停止注射。

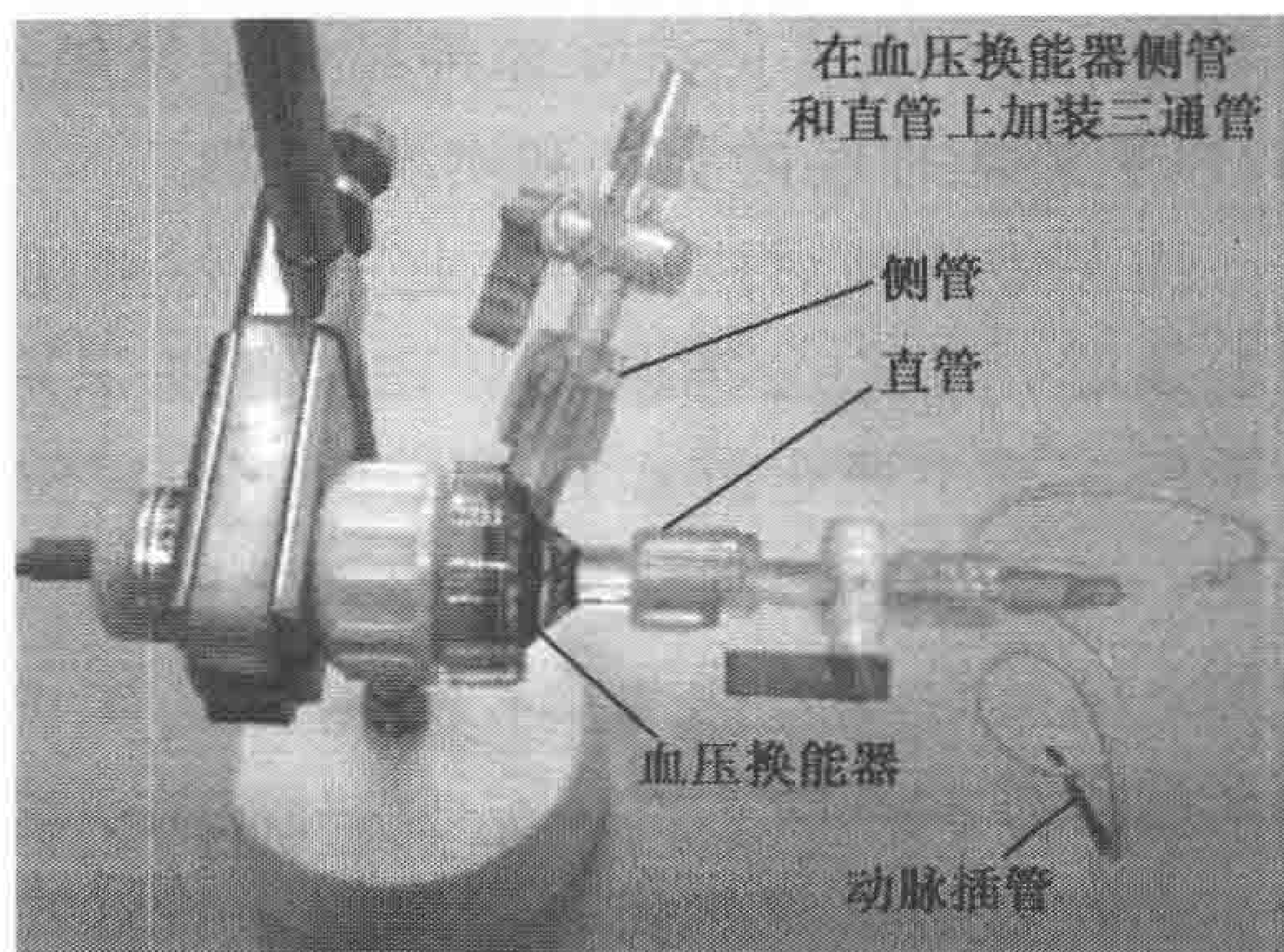


图 6-5-2　压力传递导管系统的连接

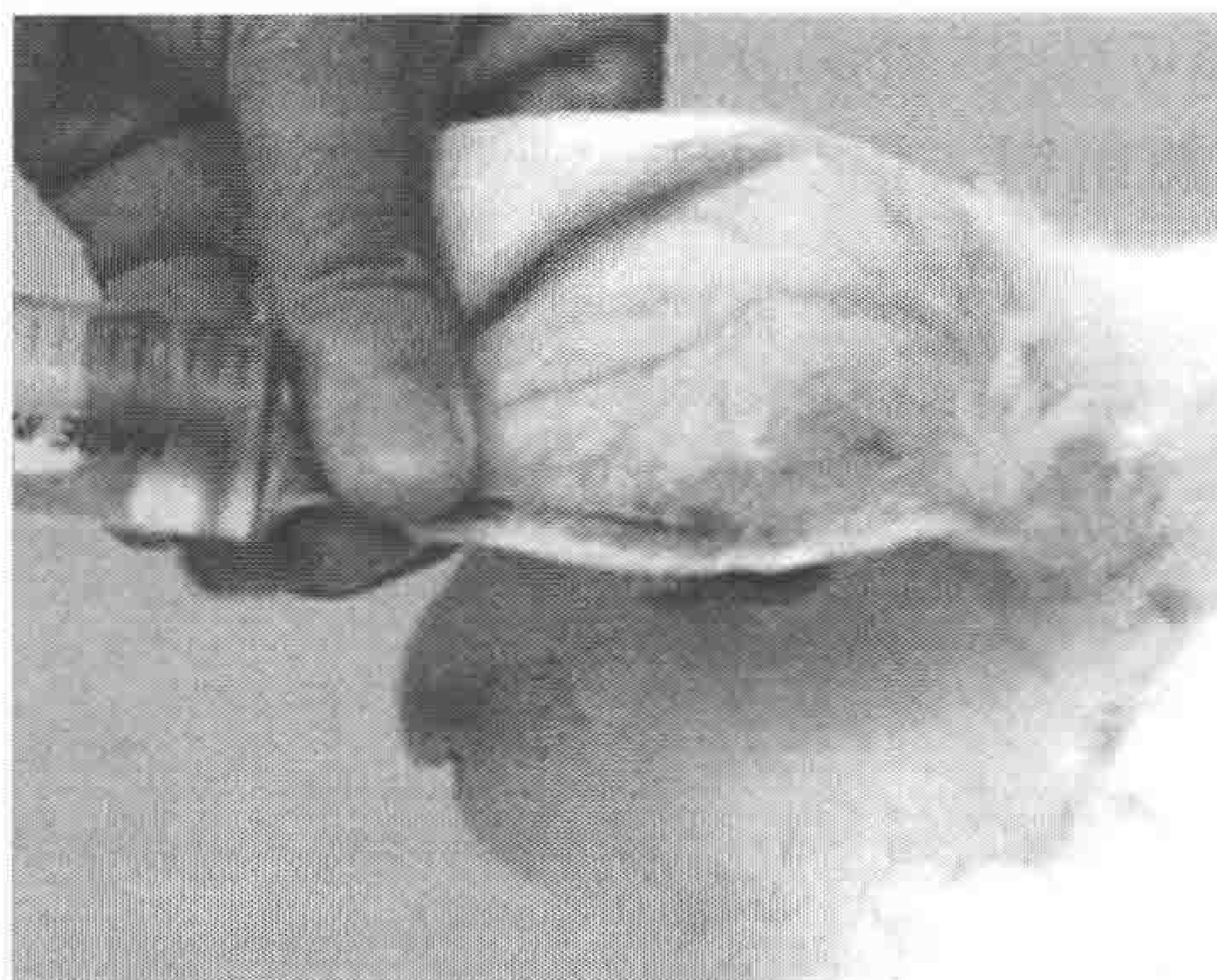


图 6-5-3　兔耳缘静脉注射

2）固定与剪毛：将动物背位固定于手术台上，用剪毛剪将颈部手术区的被毛剪去，即可进行手术。

（2）手术

1）切开皮肤：在紧靠喉头下缘，沿颈部正中线作一长约 5～7cm 的皮肤切口，用止血钳钝性分离皮下结缔组织后，夹住少许皮肤并向两侧分开创口。

2）分离颈部迷走、交感、减压神经和颈总动脉。迷走、交感、减压神经和颈总动脉都在气管两侧的颈动脉鞘内，因此分离前可先用手指按触气管旁的颈部组织，根据动脉搏动来确定颈总动脉的位置，沿此方向容易找到颈总动脉。在颈总动脉旁有束神经与其伴行，这束神经中包含有迷走、交感、减压神经。

在气管外侧，颈总动脉与三根粗细不同的神经在结缔组织的包绕下形成血管神经束。其中最粗者呈白色为迷走神经；较细者呈灰白色，为颈部交感神经干，交感神经干有通向心脏的分支；最细者为减压神经，属于传入性神经。其神经末梢分布在主动脉弓血管壁内。减压神经一般介于迷走和交感神经之间，但其位置常有变异（图 6-5-4），且变异率很大。

用拇指和食指捏住一侧切口的皮肤和肌肉，其余三指从皮肤外面略向上顶颈部气管旁软组织外部，便可暴露出与气管平行的动脉鞘，鞘内包括有靠前的颈总动脉和紧贴在后的迷走神经、交感神经和减压神经。用玻璃分针轻轻地纵行分离开鞘膜，并将颈总动脉稍移向一旁，就可见到三条平行排列的神经：迷走神经最粗、明亮；交感神经较细，

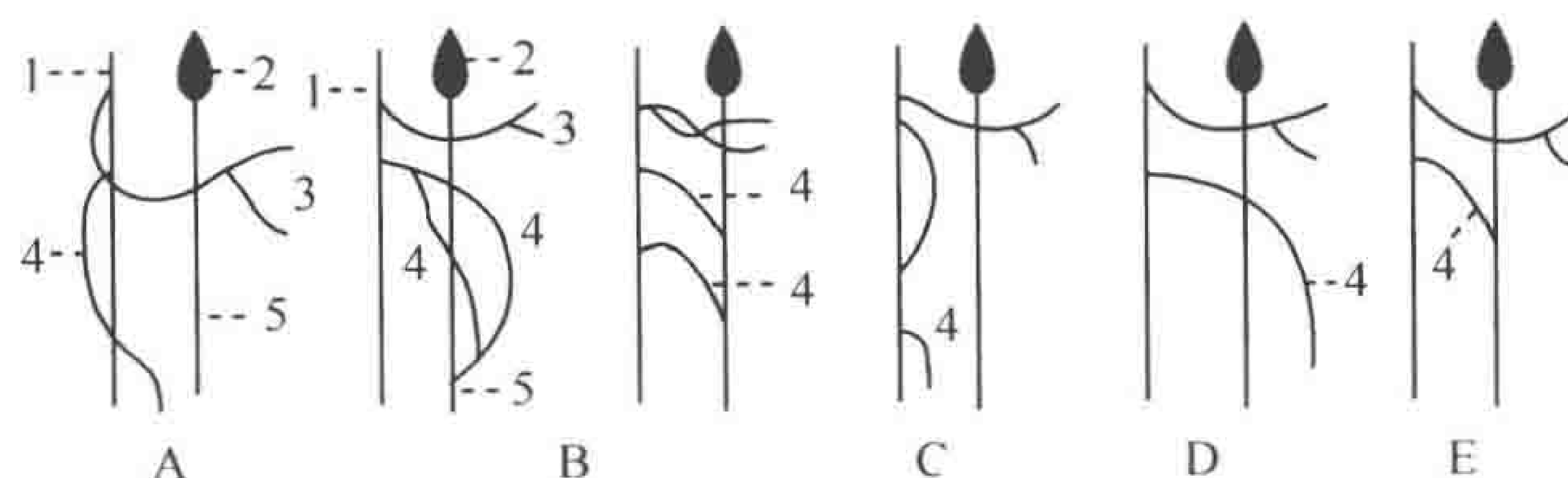


图 6-5-4　家兔减压神经的 5 种变异类型

A. 减压神经外侧位型；B. 减压神经两分支型；C. 减压迷走神经干型；D. 减压神经内侧位型；E. 减压交感神经干型；1. 迷走神经；2. 上颈神经节；3. 上喉头神经；4. 减压神经；5. 交感神经

光泽较暗；减压神经最细，在颈中部水平移位于前两者之间并紧挨交感神经并行（图 6-5-5）。用玻璃分针分离出减压神经的一段（约 1～2cm）尽量清除掉神经外结缔组织、脂肪组织，但切勿损伤神经和伴行的小血管，以免影响神经的鉴别和实验观察。

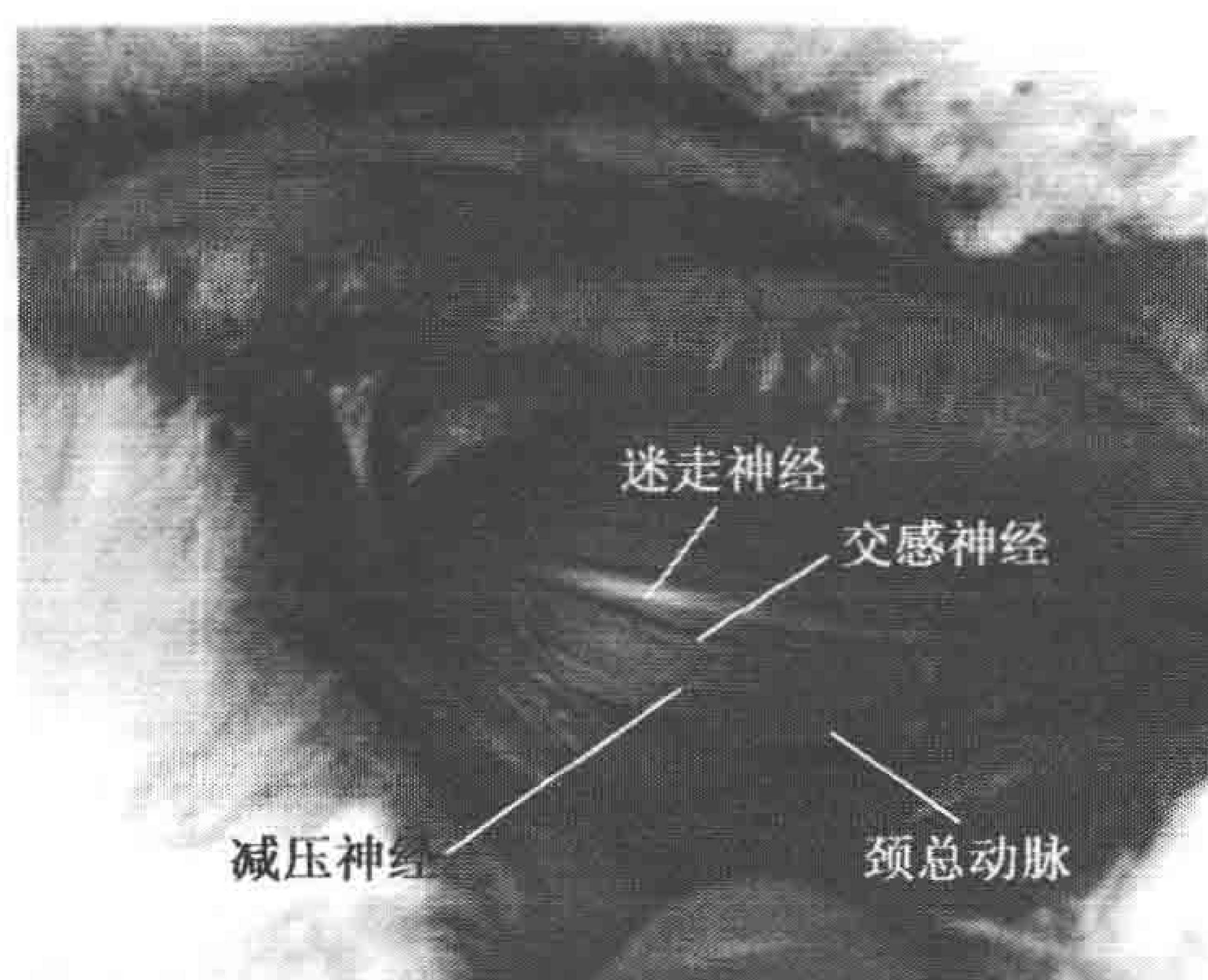


图 6-5-5　兔左颈部的神经和血管

用左手从颈后皮肤外，把一侧颈部组织向上顶起，小心分离颈动脉鞘，仔细识别 3 条神经，其中迷走神经最粗最白，一般位于外侧，减压神经最细（头发粗细），一般位于内侧，交感神经为浅灰色，粗细与位置介于上述两条神经之间。

先分离减压神经和交感神经，然后分离颈总动脉及迷走神经，每条神经分离出 2～3cm，在各条神经下穿一条生理盐水浸泡过的不同颜色的丝线以便区别。颈总动脉下也穿一条线备用。本实验可分离左侧颈总动脉供插动脉套管用，神经则以分离右侧为好。右侧颈总动脉也要分离，准备提拉（或夹闭）时用。在上述手术过程中必须注意及时止血，小血管破裂出血时，则用止血钳夹住出血点并用丝线结扎止血。

3）动脉插管：用眼科剪在尽可能靠远心端处作一斜形切口，约剪开管径的一半，然后把动脉套管经切口向心脏方向插入动脉，用已穿好的丝线扎紧插入动脉的套管尖端部分，并以同一丝线在套管的侧管上缚紧固定，以防套管从插入处滑出（图 6-5-6）。

4. 实验观察

（1）观察正常血压曲线。调节扫描速度与增益，可以明显地观察到心室射血与主动脉回缩形成的压力变化与收缩压、舒张压的读数。有时可以观察到血压曲线随呼吸变化，心搏为一级波，呼吸波为二级波。然后将扫描速度调慢，观察正常血压曲线（图 6-5-7）。

（2）刺激迷走神经。使刺激输出端连接保护电极，轻轻提起迷走神经上的备用线，小心地将神经置于保护电极之上。记录对照血压曲线后，再用中等强度的连续电脉冲信号，通过保护电极，刺激神经。血压明显下降后即可停止刺激，并待血压恢复。如果血压并不下降，可调整刺激强度或刺激频率再行刺激。

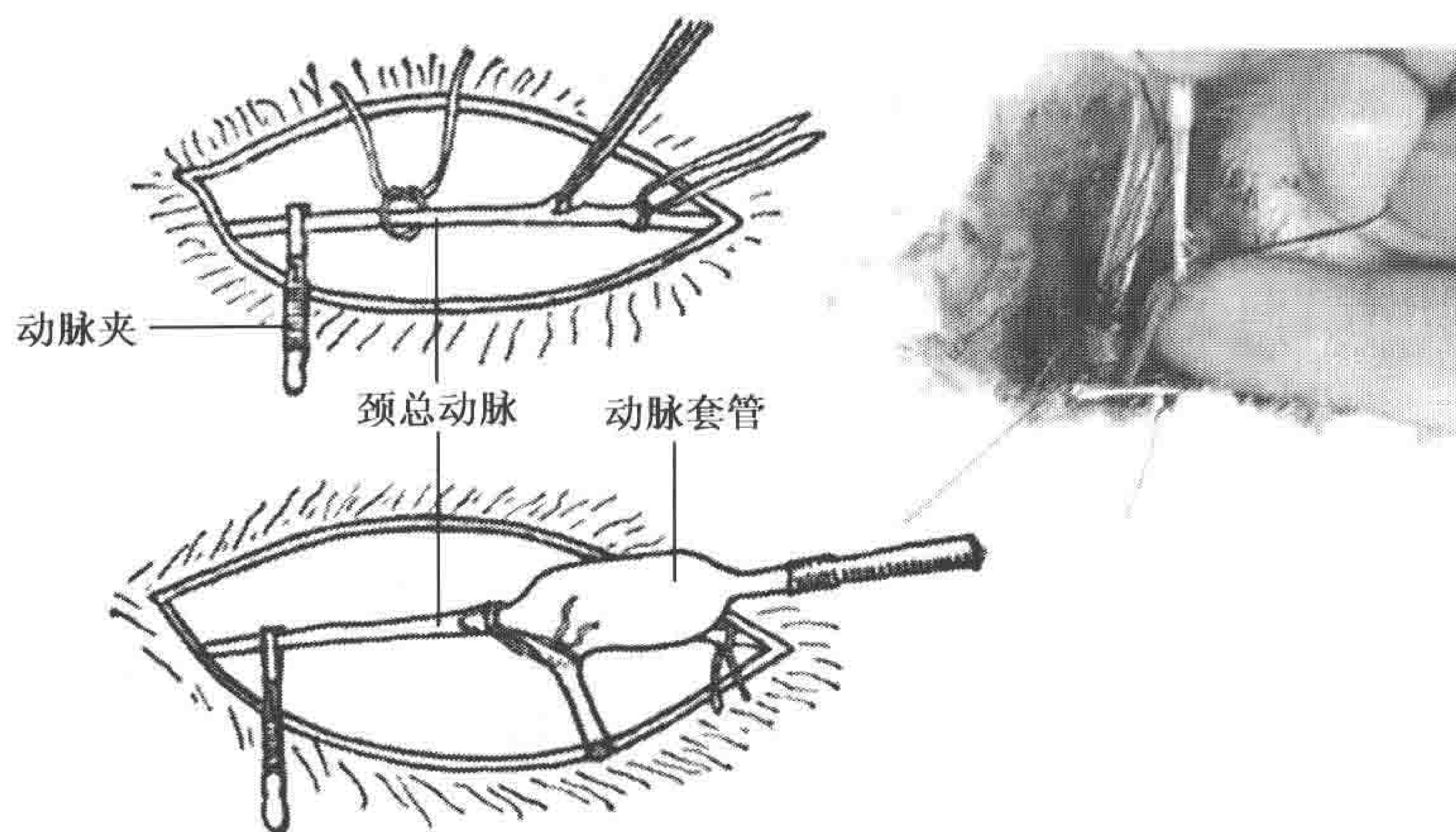


图 6-5-6　在家兔的颈总动脉上插入动脉插管

（3）刺激减压神经，方法同上。

（4）刺激交感神经，方法同上。

（5）去甲肾上腺素对血压的影响。记录对照血压曲线后，用 1mL 注射器从耳缘静脉注入 0.1～0.3mL 去甲肾上腺素溶液，观察并记录血压变化及恢复曲线。

（6）乙酰胆碱对血压的影响。同法注入 0.1～0.2mL 乙酰胆碱溶液，观察并记录注射前后血压变化（图 6-5-7）。

【注意事项】

1. 在分离及穿线时，切勿伤及其下的神经；在颈动脉近甲状腺处有甲状腺前动脉，分离时应稍靠其下，以免损伤。

2. 一项实验完成后，须待血压基本恢复后再进行下一项实验。

3. 随时注意动脉套管的位置，特别是动物挣扎时，避免扭转而阻塞血流或戳穿血管。

4. 随时注意动物麻醉深度，如实验时间过长，动物经常挣扎，可补注少量麻醉剂。

5. 注意保温。深度麻醉可使外周血管扩张，保温不好常引起动物死亡。

6. 血液凝固的处理：一般血凝易发生在动脉套管的尖端，在轻度凝血时，关闭血压换能器的直管三通，切断动脉插管一端与换能器的联系，然后轻推三通管旁侧的装有肝素生理盐水的注射器，可将套管内的小血块压出。在凝血严重时，首先应用动脉夹夹闭动脉套管近心端的动脉，而后剪开结扎线，取下套管进行清洗。在补注少量肝素以后，再插入动脉套管。

7. 整个手术过程中必须注意及时止血，少量出血或渗血可用干棉球止血，小血管破裂出血则用止血钳夹住出血点并用丝线结扎止血。

8. 实验过程中分离颈总动脉和神经时，切记要采用钝性分离，以防伤到血管和神经。

9. 松开动脉夹时，要先用力使夹张开，同时观察无漏血现象或其他意外情况，这才小心翼翼的、在尽力张开动脉夹的情况下将其退出血管。

【思考题】

1. 刺激家兔心迷走神经外周端引起血压变化的机理是什么？

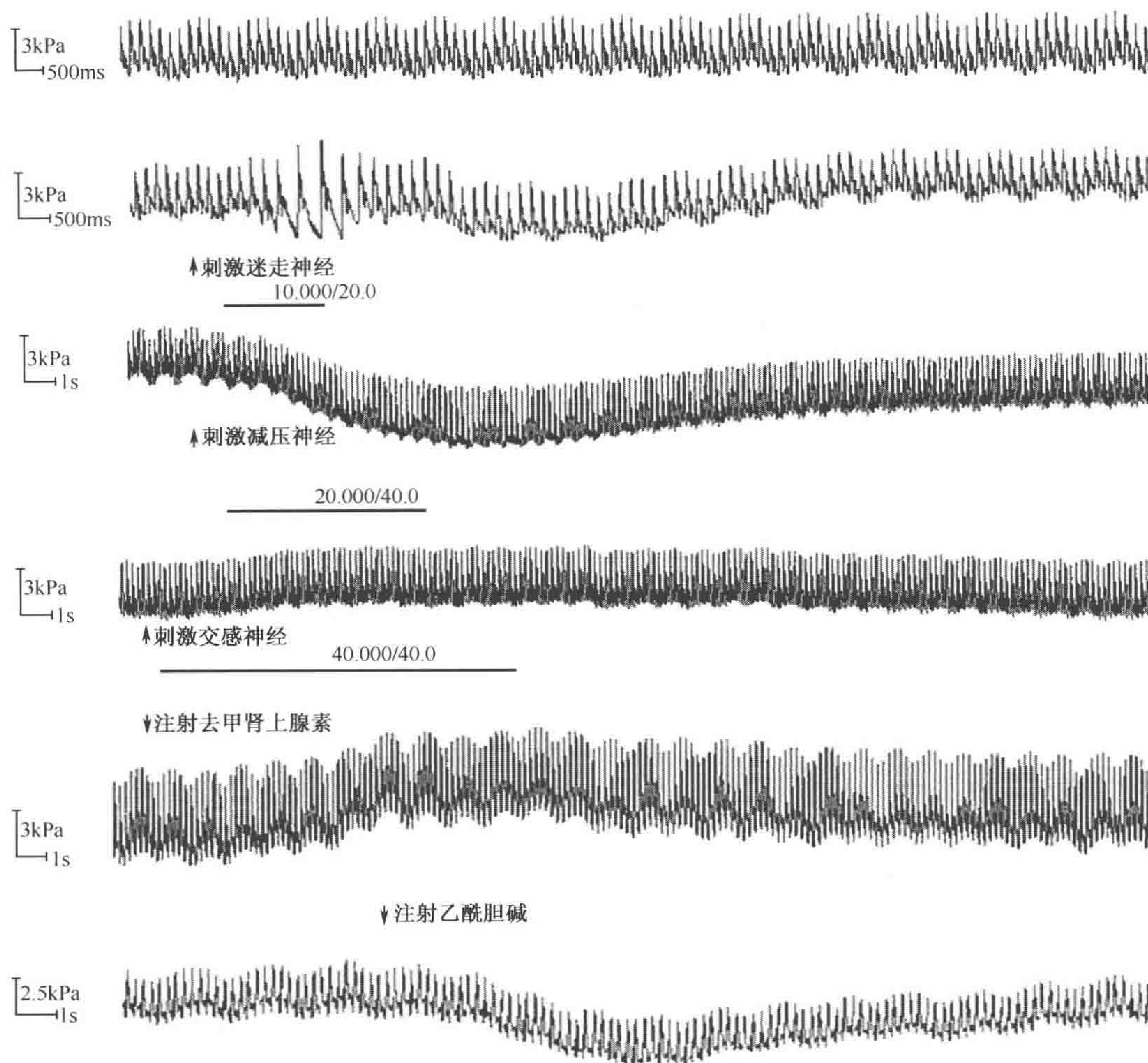


图 6-5-7　各种因素对血压的影响

最上图为正常血压，以下依次为刺激迷走神经、刺激减压神经、刺激交感神经、注射去甲肾上腺素、注射乙酰胆碱对血压的影响

2. 静脉注射肾上腺素，血压常出现先升高，后降低，然后逐步恢复，其原因如何？

3. 静脉注射乙酰胆碱引起血压下降，其机理是什么？

4. 刺激家兔完整的减压神经及其中枢端均可引起血压下降，而刺激该神经外周端血压基本不变，为什么？

实验 6-6　人体动脉血压的测定及其影响因素

【目的要求】

1. 学习并掌握间接测定人体血压的原理和方法。

2. 观察某些因素对动脉血压的影响。

【原理】

血压是血管内的血液对于单位面积血管壁的侧压力。心室收缩时，主动脉压急剧升

高，在收缩期的中期达到最高值，这个血压值称为舒张压。心室舒张时，主动脉压下降，在心舒末期动脉血压的最低值称为舒张压。临床上常采用听诊法间接测量肱动脉的收缩压和舒张压。测压时，用测压计的压脉带给上臂加压，阻断动脉血流，再使压力慢慢降低。用听诊器听诊肱动脉，当第一次发出响声时，说明开始有少量血液通过，此时气压表上的读数相当于收缩压。此后响声渐强，达到某一点后声音突然降低，最终消失，说明动脉不再因受压变形，血流可连续通过。声音消失或变调瞬间所录得的压力相当于舒张压（图 6-6-1）。动脉血压的高低因人而异，主要取决于心输出量和外周阻力，凡是能影响心输出量和外周阻力的各种因素，都能影响动脉血压。

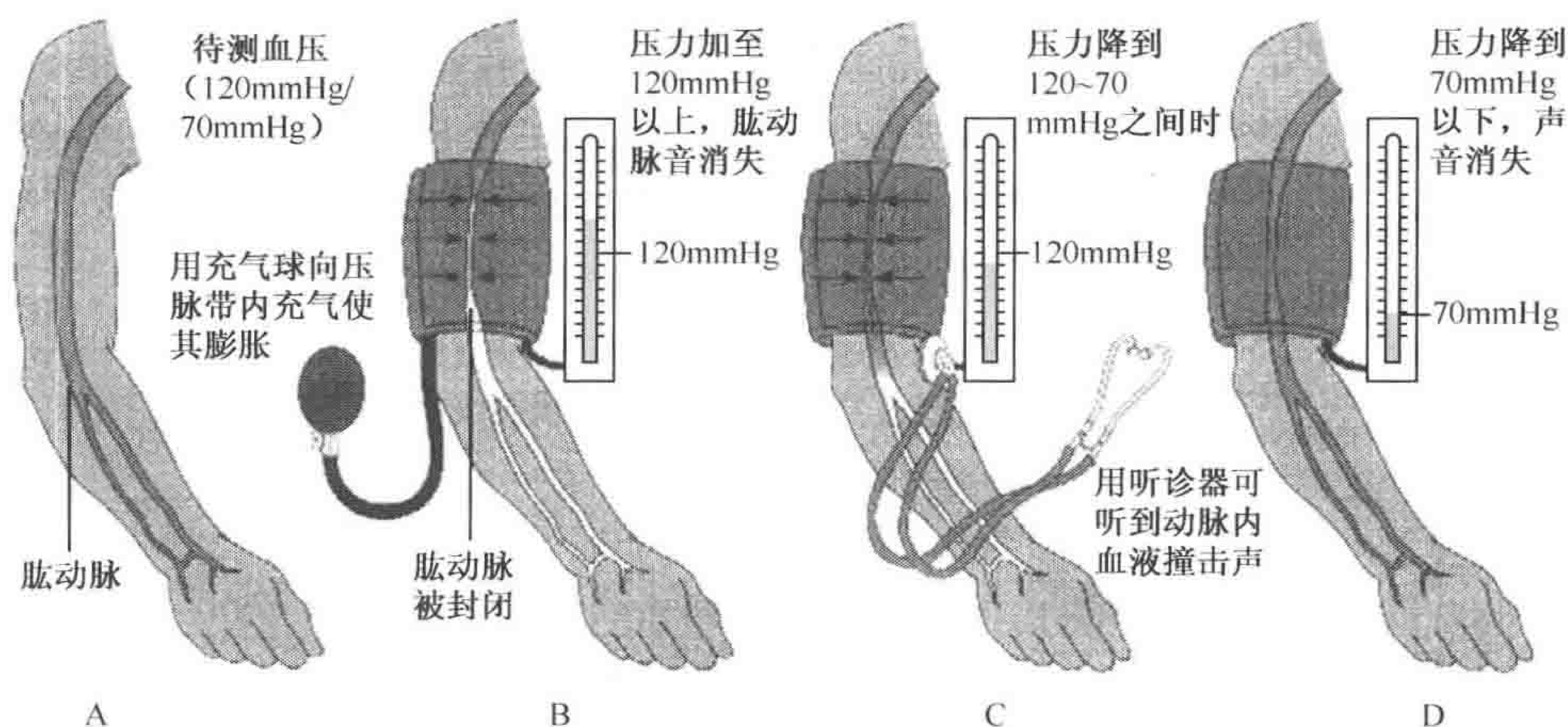


图 6-6-1　动脉血压的测量过程

A. 肱动脉路径图，假定血压为 120mmHg/70mmHg；B. 将压脉带裹于上臂肘部上方少许，向带内加压直至前臂内血流停止，肱动脉脉搏消失；C. 逐渐降低压脉带内的气压，检查者用听诊器仔细听取肱动脉内的声音。当听到第一声闷响时（开始有少量血液流入受压迫的动脉），录得的压力值记为收缩压；D. 随着压脉带中的压力继续下降，声音变得更高更明显。当动脉不受压迫，血液自然流过时不会发出声音，因此肱动脉音突然消失时所录得的压力值即为舒张压

【实验器械】

血压计、听诊器（用电子血压计测量可不用）。

【方法与步骤】

1. 动脉血压的测定

（1）实验前先阅读动脉血压计的测量说明。拧松充气橡皮球上的螺丝，排净压脉带中残留的气体。

（2）受试者静坐放松，左手置于实验台上，手心向上。将压脉带裹于上臂中部，尽量与心脏同一水平。检查者戴好听诊器，在压脉带下缘与肘窝之间找出搏动的肱动脉，将听诊器的胸具置于动脉上。

（3）向压脉带内充气，直至气压表读数达到 120～140mmHg（或声音消失后再加压 30mmHg）。稍微拧松充气球上的螺丝，使气体缓慢放出，压力平稳降低。检查者注视气压表内压力的同时仔细倾听听诊器内声音变化，当听到第一个轻柔的“砰”声时，记住此时的压力，即为收缩压。此后听得的血管音逐渐增强，随后突然减弱并最终消失。血管音消失瞬间气压表上的读数即为舒张压。记录测量结果。重复测量一次。

(4) 计算每次测得收缩压与舒张压之间的差值，即脉搏压。脉搏压反映了心脏收缩期的射血量。

(5) 根据如下公式计算平均动脉压（MAP）：

$$平均动脉压 = 舒张压 + \frac{脉搏压}{3}$$

2. 动脉血压的影响因素

测量受试者动脉血压并同步计数桡动脉的搏动次数。在平静状态下记录血压与脉搏的基础值，再检验以下各因素对血压及脉搏的影响。

(1) 姿势：改变受试者的姿势，测量血压与脉搏的结果。

(2) 运动：受试者站在一个 0.5m 高的台阶前，反复执行上下台阶的动作。要求每 2s 上下台阶一次，持续 5min。结束后立即测量受试者的血压和脉搏，每隔 1min 再测量一次，记录 3min 内的测量结果。注意观察什么时候血压和脉搏升高最明显，收缩压有无升高。

【注意事项】

1. 勿使充气的压脉带压迫血管超过 1min，长时间扰乱血压平衡对人体不利。

2. 使用听诊器时应保持实验室安静，以利听诊。

【思考题】

1. 如何确定收缩压和舒张压的数值？其原理如何？

2. 测量血压时，为什么听诊器的胸件不能放在压脉带下？

3. 运动前后血压有何不同？其机理如何？

实验 6-7　人体的体表心电图的描记

【目的要求】

1. 了解心电测量的原理，并学习用计算机采集系统记录人体心电图。

2. 学习正常心电图中各波的命名与波形，了解其生理意义。

3. 学习利用心电图计量心率，P-R 间期、Q-T 间期等各项数值。

【原理】

正常人体内，由窦房结发出的兴奋传播到左、右心房，再通过房室结、房室束、浦肯野纤维传播到左、右心室，先后引起心房和心室的收缩。心脏各部分在兴奋过程中出现的生物电活动经由心脏周围的导电组织和体液传播到身体表面，利用固定于体表的测量电极可记录到这一系统的电变化，描记为人体心电图（ECG）。在正常心电图的一个周期内，可见三组基本波形（图 6-7-1）：首先出现的 P 波代表心房去极化，随后的 QRS 波群代表心室去极化，T 波代表心室复极化（图 6-7-2）。

心电图可以反映心脏综合性电位变化的发生、传导和消失过程，虽然电位的变化可以引起心肌收缩，但这种联系在病理状态下并不是绝对的。心电图常被用于心动异常病例及心脏传导功能障碍的诊断。

【实验器械】

生理信号计算机采集处理系统、电极夹、生理盐水、酒精、酒精棉球。

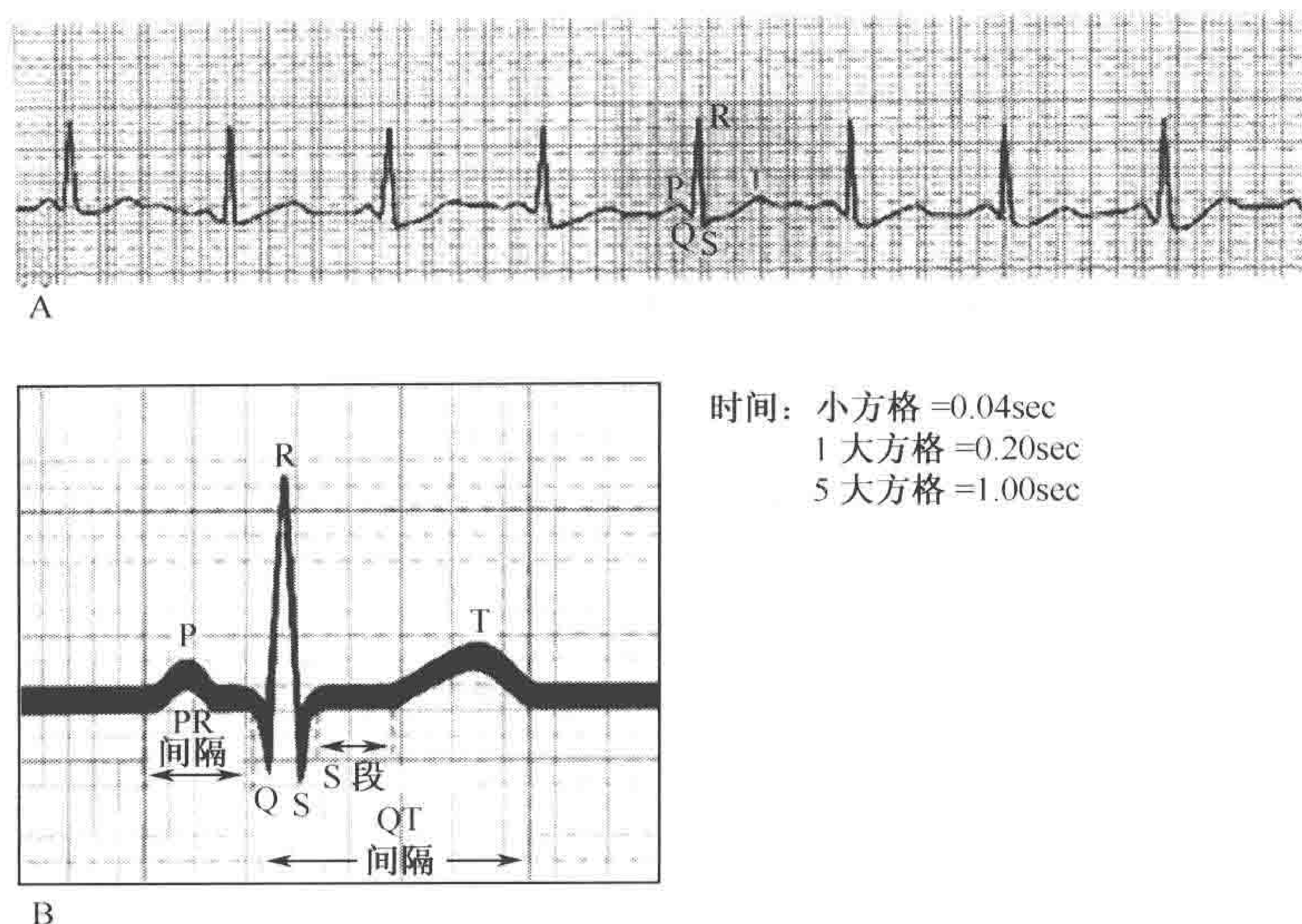


图 6-7-1　正常人心电模式图

A. 窦性心律图；B. 正常心电图中各波、段、间期

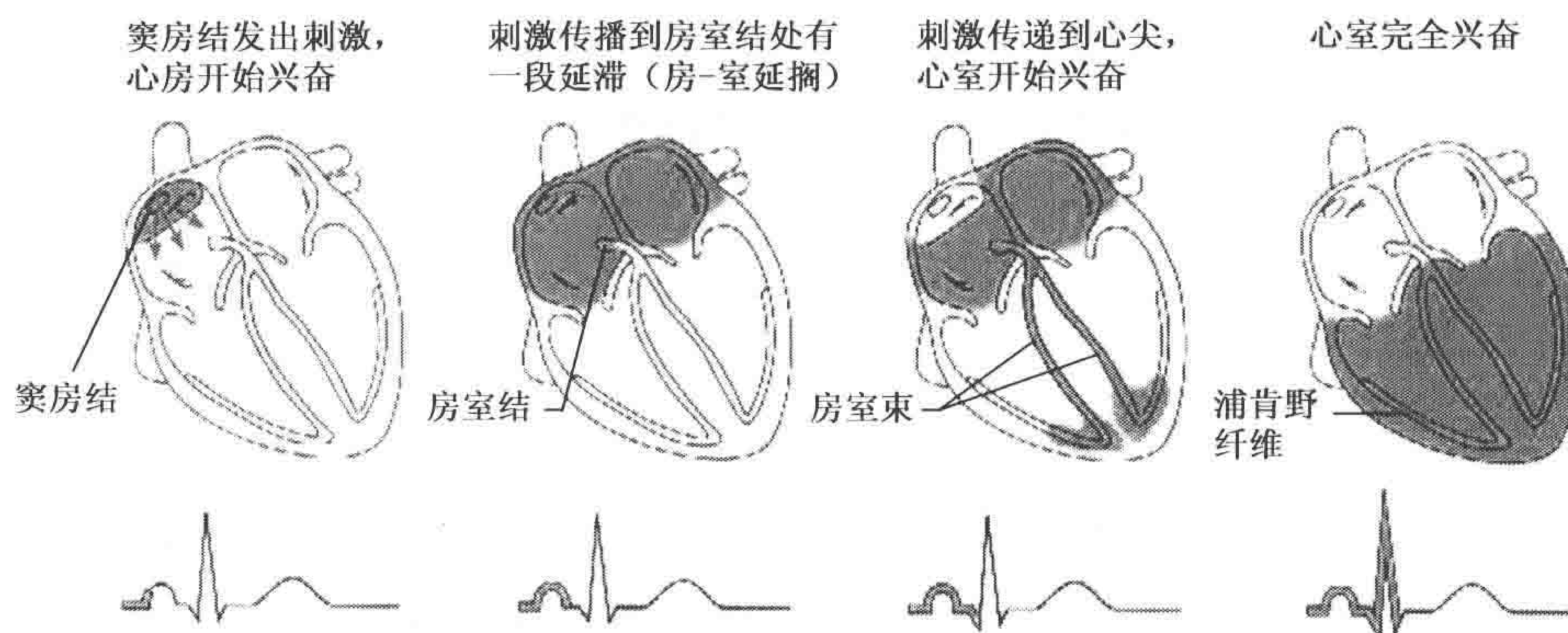


图 6-7-2　心脏各部位的兴奋顺序与心电图上相应的波形变化

【方法与步骤】

1. 打开计算机采集系统，选择“心电实验”模块，连接好心电引导电极并接通心电通道。确保机器妥善接地。

2. 受试者平卧或静坐，摘下眼镜、手表等金属物品及微型电器，全身放松。

3. 在安放电极夹的部位用酒精棉球洗脱去油脂，再用生理盐水擦湿。将电极夹安放在肌肉较少的部分，手部应在腕关节屈侧上方 3～5cm 处，足部在左侧小腿下段内踝上方约 3～5cm 处。分别按图 6-7-3 中的三种标准肢体导联方式接好电极，进行测量。

4. 调节基线位置、描记速度、信号增益及方向，使心电通道窗口中的波形易于观察。

5. 开始观察并记录心电图，截取波形稳定的几个连续周期，保存文件，标明受试者的姓名及实验时间。

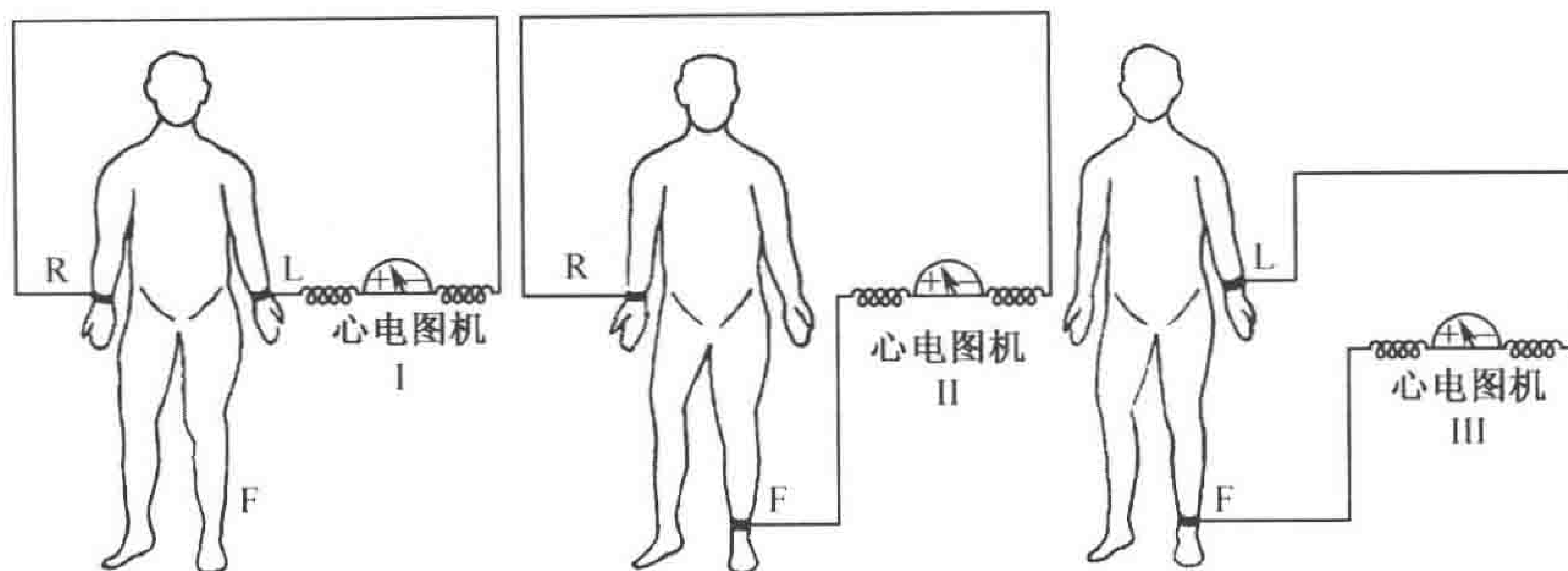


图 6-7-3 体表心电图的肢体导联

6. 直接在采集窗口中测量 P 波、R 波、T 波的振幅以及 P-R、Q-T、R-R 间期的时长。观察结果是否在正常范围内。

7. 受试者在记录了一段正常心电图后，做原地运动 3min，观察运动后一段时间内心电图的变化。

8. 受试者恢复后，记录一段正常心电图，再令受试者屏住呼吸 1min，观察此过程中心电活动的变化。

【注意事项】

1. 受试者应将身上所有金属物品取下，如眼镜、手表、手机等。

2. 描记心电图时，受试者应尽量放松，电极要紧贴皮肤，防止记录过程中电极脱落。

3. 测量波形幅值时，注意向上波应测量基线上缘至波峰顶点距离；向下波为基线下缘至谷底距离。

4. 记录完毕，将电极擦干净。

【思考题】

1. 为什么在体表可以记录到心电变化？

2. 心电图基线不稳、曲线毛糙的常见原因有哪些？如何处理？

3. 说明心电图各个波的生理意义。如果 P-R 间期延长超过正常值，说明什么问题？当超过一定数值时，表明心脏发生了何种疾病？

实验 6-8 蛙蹼毛细血管及微循环影响因素的观察

【目的要求】

1. 观察毛细血管及其前后血液流动的特点。

2. 了解某些外部因素对微循环的影响。

【原理】

微循环是指循环系统中在微动脉和微静脉之间的部分，典型的微循环由微动脉、后微动脉、毛细血管前括约肌、真毛细血管、直捷通路、动静脉吻合支和微静脉等部分组成。蛙类的足蹼很薄，是观察微循环的良好材料。在显微镜下直接观察毛细血管床（图 6-8-1），可以依据血管的粗细、壁的厚度和血液方向辨别各类血管。

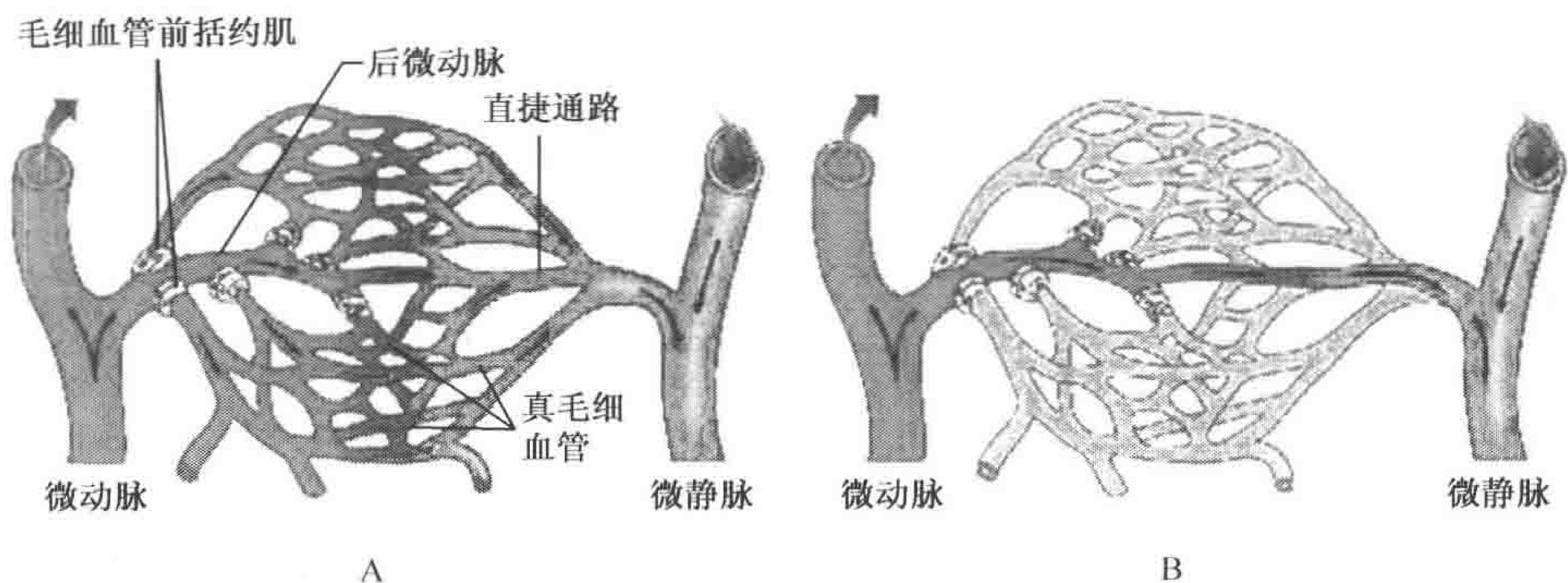


图 6-8-1　毛细血管床

当毛细血管前控制血流进入真毛细血管的括约肌收缩时，血液通过直捷通路流入微静脉

A. 括约肌打开；B. 括约肌闭合

【动物与器械】

青蛙；有孔蛙板、常用手术器械、显微镜、纸巾、橡皮筋、任氏液、1%肾上腺素溶液、0.01mol/L 盐酸、0.01%组胺溶液。

【方法与步骤】

1. 取活蛙一只，用在室温下浸湿了任氏液的纸巾裹紧蛙身，只露出一条后足。

2. 用橡皮筋把蛙身绑在蛙板上，小心地张开后足上的蹼（勿撕裂），移至蛙板孔的上方，用大头针固定。

3. 将蛙板置于显微镜的载物台上，透过蛙板上的孔观察后足蹼。找到毛细血管床的位置，在低倍镜下观察血液循环，识别动脉、静脉、小动脉、小静脉、毛细血管、动静脉吻合支及直捷通路等各类血管（图 6-8-2）。

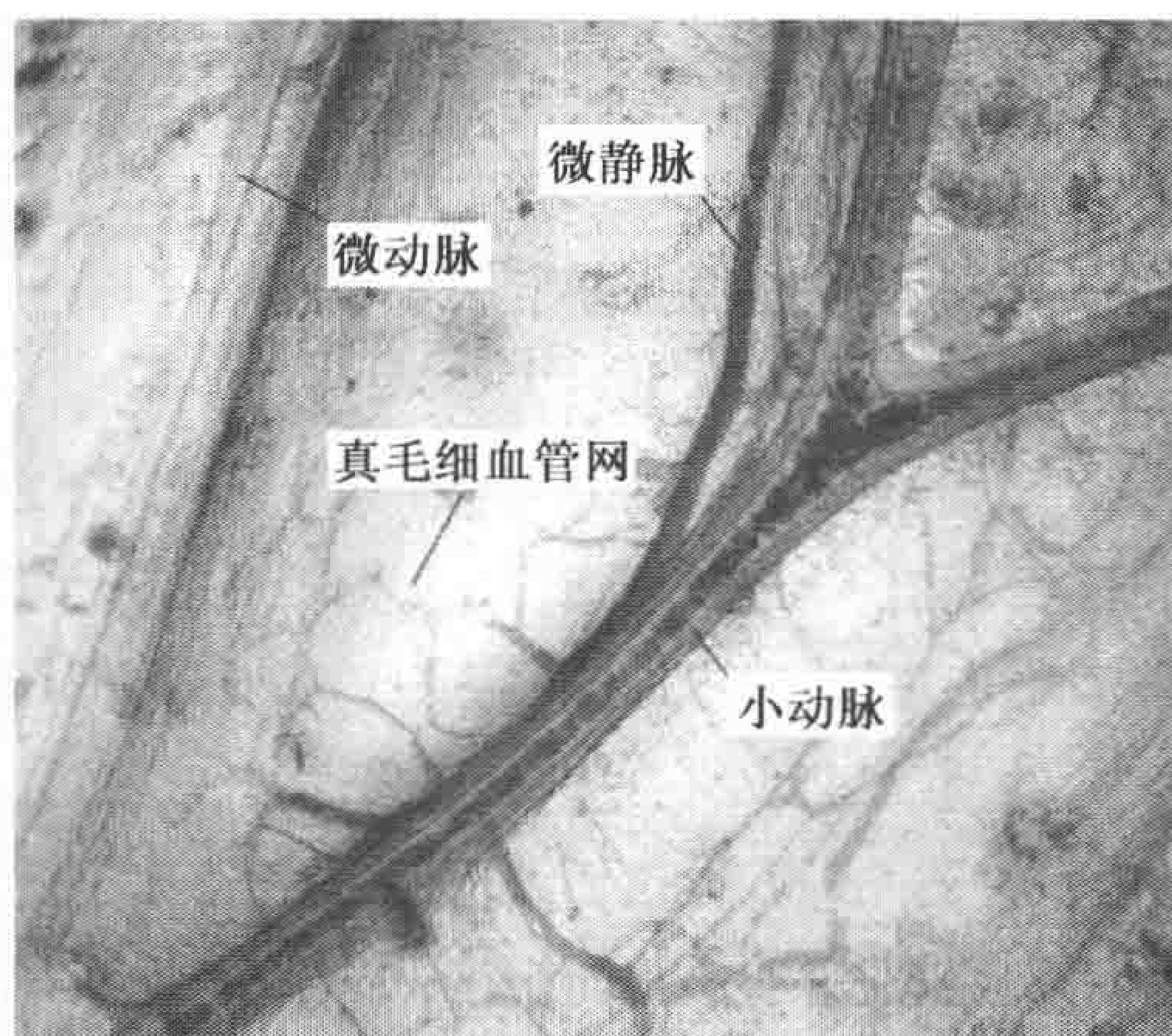


图 6-8-2　蛙的毛细血管床

4. 在足蹼上滴加 10℃的任氏液数滴，观察在低温的作用下血管直径及血流的变化。再用 35℃的任氏液浸润足蹼，重复上述观察。

5. 在蹼上滴几滴 0.01mol/L 盐酸，观察血流的变化。出现变化后立即用任氏液冲洗并吸干。

6. 用新鲜任氏液湿润足蹼，待血流恢复正常后，在蹼上滴几滴组胺溶液，观察血流的变化。出现变化后立即用任氏液冲洗并吸干。

7. 血流恢复正常后，再在蹼上滴几滴肾上腺素溶液，观察血流的变化（表 6-8-1）。

表 6-8-1　低倍镜下动脉、静脉、微动脉、微小静脉及毛细血管的区别

血管类别	动脉	微动脉	毛细血管	微静脉	静脉
血管壁	厚，有肌层	薄，有平滑肌纤维	极薄，透明或看不到	薄，膜状	有薄肌层
血管口径	较大	小	极小，红细胞一个一个通过	较小	大
血流方向	主干向分支	主干向分支	微动脉向微静脉	分支向主干	分支向主干
血液颜色	鲜红	鲜红	红黄透亮	暗红	暗红
血流速度	快，有搏动，有轴流	快，有搏动	极慢，在真毛细血管内可见一个一个红细胞变形通过，时走时停	较慢，血流均匀	快，血流均匀

【注意事项】

实验过程中，蛙足蹼应用任氏液保持湿润。若实验中循环血流变缓停滞，则轻轻按摩后腿上部使血流恢复。

【思考题】

1. 不同血管的形态及血流特点如何与生理机能相适应？

2. 盐酸可引起局部的炎症反应。根据你的实验结果，说明局部炎症反应条件下微循环发生何种变化？有何作用？

实验 6-9　植物性神经递质对蛙心的作用

【目的要求】

1. 学习并掌握双蛙心在体灌流技术。

2. 了解植物性神经递质与化学性突触的作用机理。

【原理】

支配心脏的心迷走神经与心交感神经的节后纤维，释放神经递质乙酰胆碱和去甲肾上腺素作用于心肌上的相应受体，产生对心脏的变时、变力、变传导作用。神经效应器系统中的化学递质，首先是用心脏灌流实验确定的。Loewi 把两个蛙心用任氏液灌流系统连接起来，刺激供液心脏的迷走神经，引起心搏停止，随后，受液心脏也停止搏动（图 6-9-1）。这一实验证明了神经信息的传递是依靠神经末梢释放化学递质来实现的，从而为化学递质学说提供了有力的实验证据。

【动物与器械】

青蛙或蟾蜍；常用手术器械、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器、蛙心夹、支架、一维位移微调器、固定针、蜡盘、培养皿、污物缸、棉线、纱布、滴管、任氏液、保护电极、用作插管的软塑料管、滴瓶、肾上腺素（1∶10 000）、乙酰胆碱（1∶10 000）。

【方法与步骤】

1. 取两只青蛙或蟾蜍，分别毁脑和脊髓。

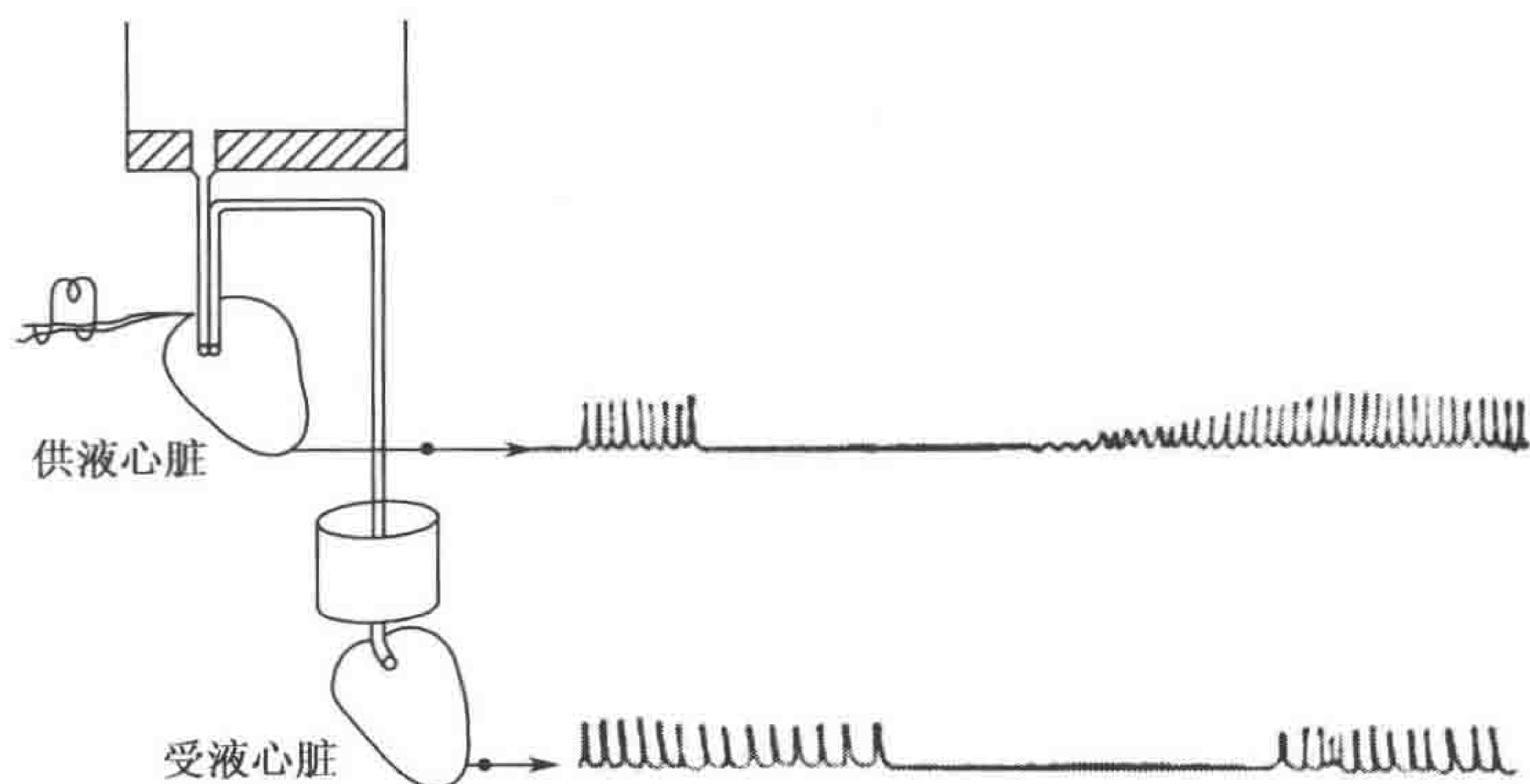


图 6-9-1　Loewi 氏实验示意图

示心脏迷走抑制（vagus inhibition）的体液机制。支配心脏的迷走神经受刺激后释放抑制性化学介质，不仅使供液心脏停止搏动，而且当这种抑制性化学介质弥散到灌流液后，也使受液心脏停止搏动

2. 将其中一只蛙的左、右侧心迷走交感神经小心分离出来，穿线备用。

3. 两只蛙均剪开胸骨，暴露心脏，剪开心包膜后，分别结扎右主动脉、肺静脉、左前腔静脉、右肝静脉和后腔静脉。

4. 将分离出神经并穿线备用的蛙作为甲蛙，另一只为乙蛙。将甲蛙的左肝静脉剪一小口，作一插管与灌流滴瓶相连，供任氏液输入；其心脏的左主动脉作另一插管，供液体流出。甲蛙心脏左主动脉插管的另一端作乙蛙心脏的左肝静脉插管，另外在乙蛙心脏的左主动脉处作一插管，将乙蛙左主动脉流出的液体收集到培养皿中。

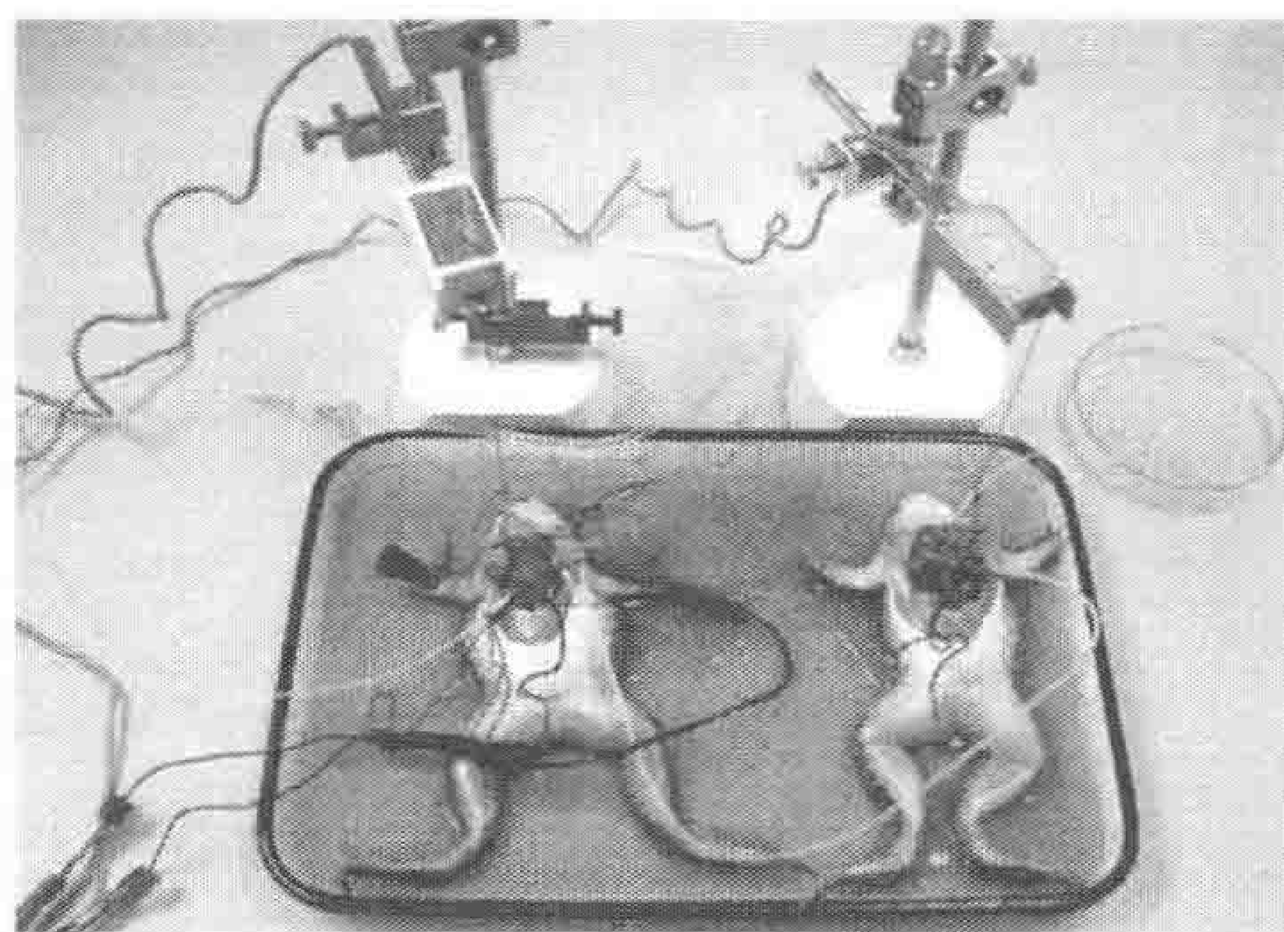


图 6-9-2　双蛙心灌流实验装置图

5. 按图 6-9-2 所示连接张力换能器与计算机采集处理系统，调整好实验装置，即可开始实验观察。

6. 刺激甲蛙的心迷走交感神经，观察和记录甲蛙、乙蛙心搏频率和幅度的变化（图 6-9-3）。

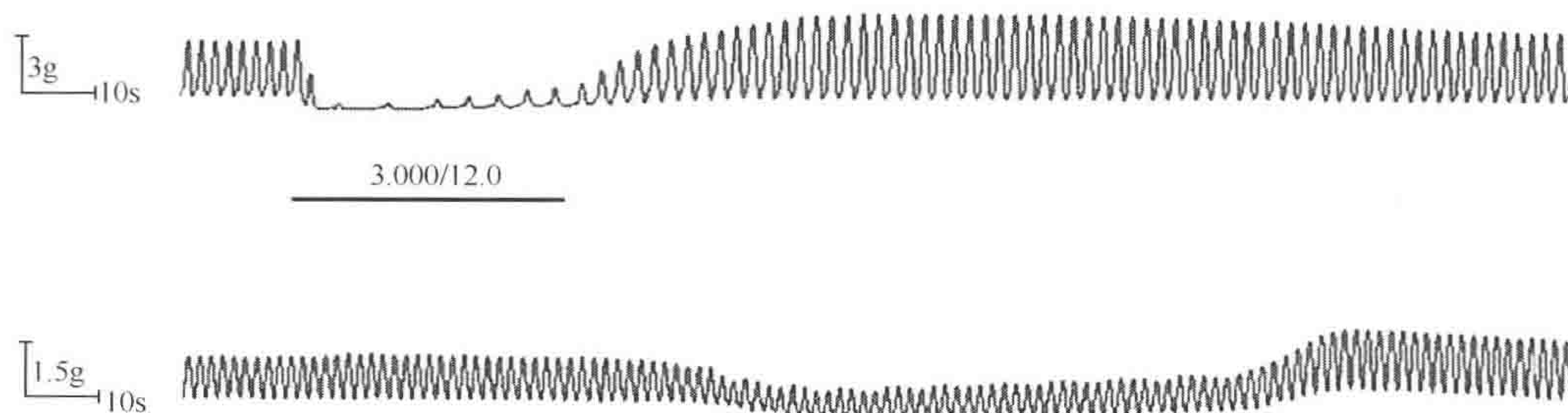


图 6-9-3　刺激甲蛙的心迷走交感神经干对甲、乙蛙心搏的影响

7. 在灌流的任氏液中分别加入 0.3～0.5mL 乙酰胆碱和 0.3～0.5mL 去甲肾上腺素，观察有何变化。

8. 将记录到的实验结果添加图名、图注、标尺后，存盘打印。

【注意事项】

1. 分离神经时，避免神经受损。

2. 注意插管的方向。血管与插管连接处要用线扎紧，防止漏液。

3. 灌流系统的压力与速度要合适，保持心跳正常。

【思考题】

1. 实验能否做到仅显示心迷走或心交感效应？

2. 乙蛙心脏的变化是否与甲蛙心脏一致，为什么？

3. 分别刺激或同时刺激左、右侧心迷走交感神经干，实验结果有何异同？

第七章　消化和吸收

消化系统是由消化管和消化腺两部分组成（图 7-0-1）。

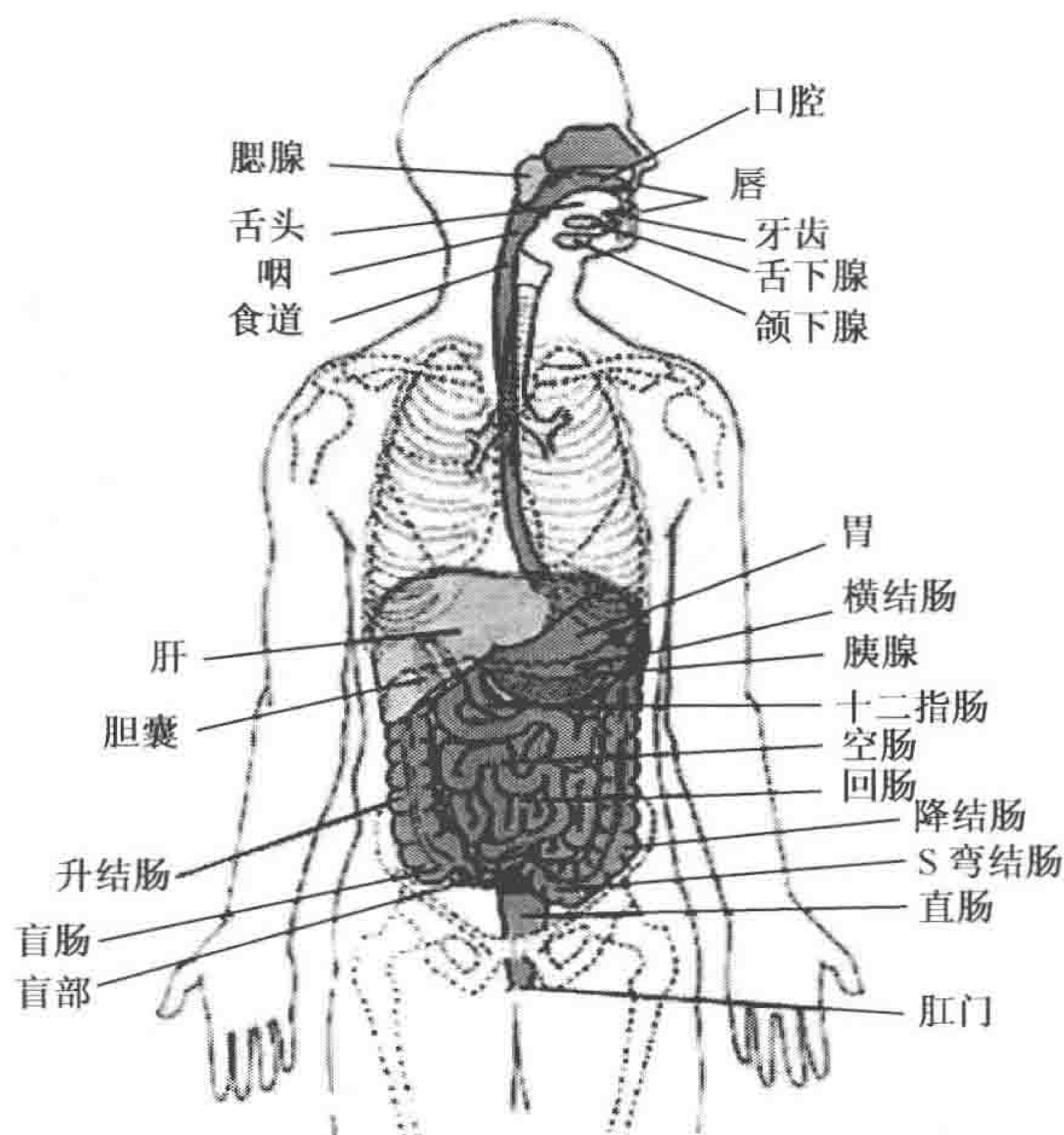


图 7-0-1　人消化系统

消化管包括口腔、咽、食管、胃、小肠、大肠。消化管（除口腔以外）各段的结构基本相同，其由内向外一般可分为四层：

1. 黏膜层：具有保护、吸收和分泌的功能。

2. 黏膜下层：由疏松结缔组织构成，使黏膜具有一定移动性。

3. 肌层：除在咽、食管上段与肛门部的肌层为横纹肌外，其余部分的肌层均为平滑肌。一般分为内环行肌和外纵行肌两层。在肌层内有肌间神经丛支配平滑肌活动。通常将黏膜下神经丛和肌间神经丛统称为壁内神经丛。

4. 外膜：由薄层结缔组织构成，位于消化管最外层。胃肠的外膜称为浆膜。

消化腺是分泌消化液的器官，属外分泌腺。它包括口腔大唾液腺、肝、胰及消化管壁内的小腺体（如胃腺、肠腺等），它们均需借助排出管道将分泌物排入消化管腔内。胃腺和肠腺存在于消化管管壁（图 7-0-3）内，属管内腺，而唾液腺、肝和胰则位于消化管之外，属管外腺，它们分泌的消化液均要进入消化管。

肝是人体最大的腺体，成人的肝重量约为 1500g。肝细胞能不断分泌胆汁，胆汁首先进入毛细胆管，经小叶间胆管流至左右肝管，再经肝总管入胆总管，最后经十二指肠大乳头开口流入十二指肠或由胆总管转经胆囊管流入胆囊贮存。胆囊可吸收水分使胆汁浓缩。当食物消化时，胆囊收缩，胆胰壶腹括约肌舒张，储存于胆囊的浓缩胆汁排入十

二指肠以助食物的消化和吸收。

胰呈长条状，位于胃的后方，横于腹后壁，分为头、体、尾三部分。胰有许多分泌胰液的腺泡，腺泡的导管汇入一条横贯全腺体的胰管，胰管经胰头穿出，与胆总管汇合共同开口于十二指肠大乳头顶端，分泌的胰液由此流入肠腔。十二指肠大乳头处有平滑肌环绕，形成肝胰壶腹括约肌，此括约肌平时保持收缩状态。此外，胰又是一个内分泌器官，在腺泡之间有散在的细胞团，即胰岛，它能分泌胰岛素与胰高血糖素等多种激素（图 7-0-2）。

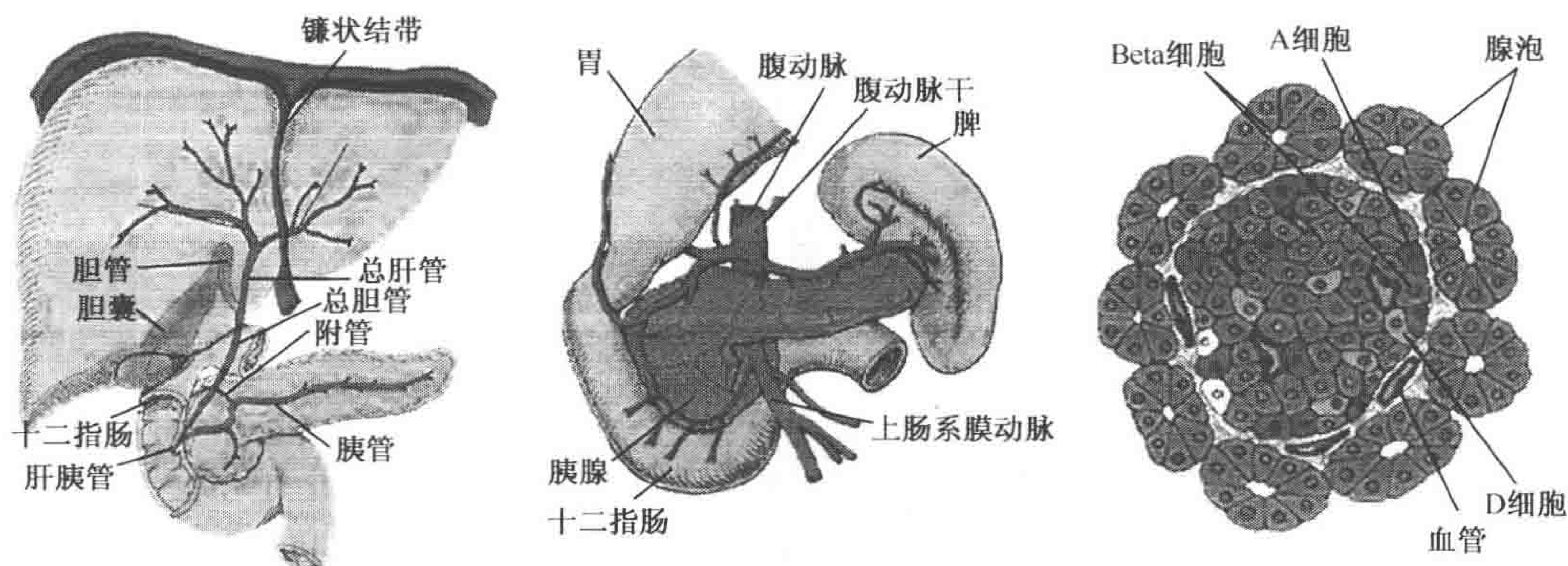


图 7-0-2　肝和胰

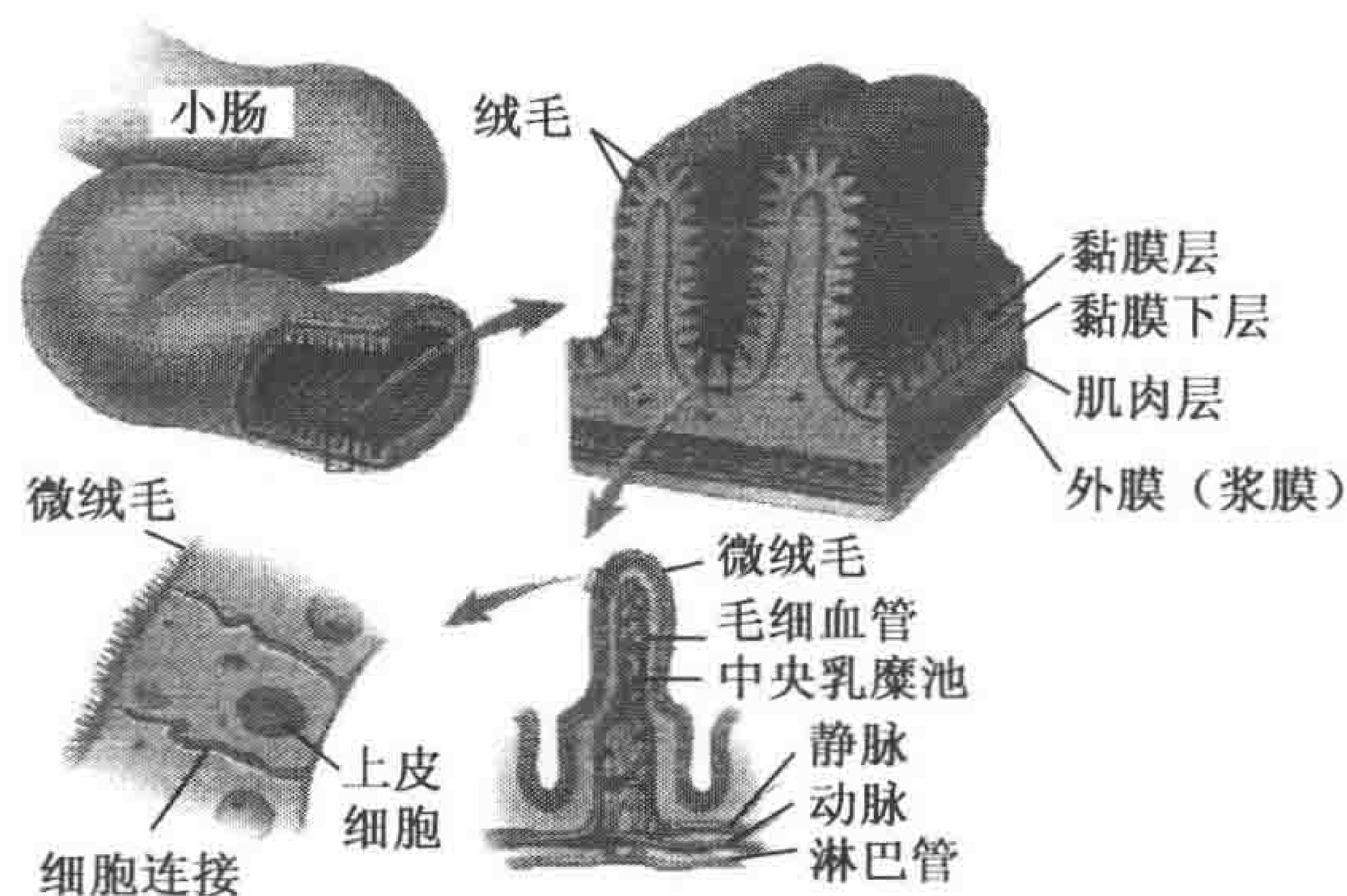


图 7-0-3　消化管管壁的结构

实验 7-1　食物的消化和酶的作用

【目的要求】

1. 掌握消化系统中分别消化蛋白质、脂肪和碳水化合物的酶，并说明它们的产生部位。

2. 概述上述酶发生作用的最适反应条件，从而进一步了解温度和 pH 在调节酶活力方面可能具有的作用。

3. 了解蛋白质、脂肪和碳水化合物消化的终产物。

4. 掌握几种判定某种特定食物是否被消化的化学测定方法。

5. 熟知消化过程中胆汁的功能并举例说明。

【原理】

营养物质只有分解成单体后才能被吸收，所以食物的消化是食物吸收的先决条件。在机体内除咬切、咀嚼等机械作用外，主要是依靠酶进行食物的消化。酶是活细胞产生的一类具有催化功能的有机物。它具有高效性、专一性、温和性以及多样性等特征。其中消化酶属于水解酶类，其底物为有机食物分子，其作用的原理是把水分子加到有机食物分子的分子键上，将其裂解成亚单位即单体形式。此外酶的环境条件（如温度、pH等）对酶的功能发挥着重要作用。事实上消化酶是在消化管的体细胞外发挥它的功能，因此，我们可以在试管中研究酶的水解活性。表 7-1-1 是蛋白质、脂肪和碳水化合物消化吸收过程的流程图。实验开始之前，应熟悉这个流程图。

表 7-1-1　食物的消化和吸收

吸收路径	食物	酶和来源	作用位点
碳水化合物的吸收：单糖-葡萄糖、半乳糖、果糖经小肠绒毛吸收进毛细血管，再经肝门静脉运输到肝脏。	淀粉和二糖类	唾液淀粉酶	口腔
	↓	胰淀粉酶	小肠
	寡糖类和二糖类 → 乳糖、麦芽糖、蔗糖 → 半乳糖、葡萄糖、果糖	小肠刷状缘酶如糊精酶、乳糖酶、麦芽糖酶、蔗糖酶	小肠
蛋白质的吸收：氨基酸经小肠绒毛吸收进毛细血管，再经肝门静脉运输到肝脏。	蛋白质 ↓	胃蛋白酶（盐酸存在）	胃
	大分子多肽 ↓	胰酶（胰蛋白酶，糜蛋白酶，羧肽酶）	小肠内腔
	小分子多肽和小肽 ↓	刷状缘酶（氨基肽酶，羧肽酶，二肽酶）	小肠刷状缘酶
	氨基酸、少量二肽和三肽		
脂肪的吸收：主要被吸收进绒毛乳糜管，经胸淋巴管进入体循环。而甘油和短链脂肪酸被吸收进毛细血管运输到肝脏。	未乳化脂肪	胆盐的乳化作用	小肠
	↓	胰脂肪酶	小肠
	甘油一酯和脂肪酸；甘油和脂肪酸		

【材料与器械】

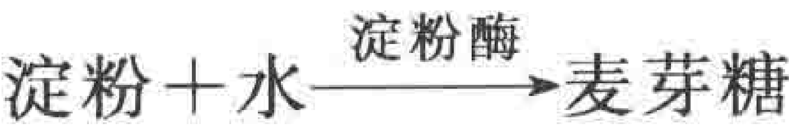
1. 试管和试管架、蜡制记号笔、电炉、250mL 规格的烧杯、沸腾石、37℃水浴、冰浴。

2. 点滴板、蒸馏水、1%α淀粉酶溶液、1%煮过的淀粉溶液（新鲜制备）、1%麦芽糖溶液、碘液、Benedict 溶液（配制见实验 3-1）、1%胰蛋白酶和 0.01%BAPNA 溶液、1%胰酶制剂溶液、石蕊试纸、0.1mol/L HCl 和植物油、胆汁盐（牛磺胆酸钠）、封口膜（剪成小段，以备封试管口用）。

【方法与步骤】

1. 评价唾液淀粉酶消化淀粉的作用

唾液淀粉酶可将淀粉水解成麦芽糖。本实验通过鉴定淀粉和麦芽糖的存在来进行酶活动的测定。



$$淀粉+水\xrightarrow{淀粉酶}麦芽糖$$

注意实验一定要设对照组，以对照作为标准，比较淀粉是否减少、糖是否增多等。

（1）准备试管架、10 个试管、记号笔、蒸馏水、麦芽糖、淀粉酶和淀粉溶液。

（2）按表 7-1-2 准备对照样本（试管 1A～3A）和试验样本（试管 4A～6A）。用记号笔标记每个试管，按照表中的方案处理每支试管，每种物质的用量为 3 滴。

（3）将所有试管放在试管架上，37℃水浴约 1h。偶尔轻轻摇动试管架，使试管中的物质混匀。

表 7-1-2　唾液淀粉酶消化淀粉

试管号	1A	2A	3A	4A	5A	6A
各加（3 滴）	水＋淀粉	水＋淀粉酶	水＋麦芽糖	淀粉酶煮沸 4min 后，加入淀粉	淀粉酶＋淀粉	淀粉酶＋淀粉
孵育条件	37℃	37℃	37℃	37℃	37℃	0℃
碘液测试（颜色变化）						
阳性（＋）或阴性（－）结果						
Benedict's 测试（颜色变化）						
阳性（＋）或阴性（－）结果						

（4）淀粉酶活性分析

1）取点样板、碘液和 Benedict 溶液。用电热板、沸腾石和 250mL 烧杯准备好沸水水浴。一边将水加热，一边为点滴板编号：1A～6A（其中，A 代表淀粉酶，数字代表不同的样本）。

2）从每个试管中取一滴样本，滴在相应的点滴板上。然后，在向每滴样本中加入 1 滴碘液。若样本滴呈蓝黑色，证明淀粉存在，为淀粉阳性反应。若样本滴不变蓝，证明不存在淀粉，为淀粉阴性反应。将结果记录在表中（阳性用"＋"表示，阴性用"－"表示）。

3）向各试管中剩余的混合物中各滴 3 滴 Benedict 溶液，将各个试管水浴 5min。如果出现橙绿色的沉淀，说明存在麦芽糖，为糖的阳性反应。如果未发生颜色的改变，则为糖的阴性反应。将结果记录在表中（阳性用"＋"表示，阴性用"－"表示）。

2. 评估胰蛋白酶消化蛋白质的作用

胰腺产生的胰蛋白酶可将蛋白质水解成小的片段（蛋白朊、蛋白胨和多肽）。BAPNA是人工合成的胰蛋白酶底物，它在一个氨基酸分子上共价连接一个染料分子。BAPNA 被胰蛋白酶水解时，连在氨基酸上的染料分子分离下来，使得溶液从无色变成淡黄色。由于在染料分子和氨基酸残基之间的共价键与连接氨基酸残基的肽键相同，所以黄色的出现说明酶的存在和酶水解肽键的能力。因为从无色到黄色的颜色变化直接表示了水解的发生，所以当用 BAPNA 测定胰蛋白酶活性时，无需再用其他测试方法。

(1) 取 5 支试管放在试管架上；准备胰蛋白酶和 BAPNA。

(2) 按表 7-1-3 准备对照样本（试管 1T 和 2T）和试验样本（试管 3T～5T）。

表 7-1-3　胰蛋白酶消化蛋白质

试管号	1T	2T	3T	4T	5T
各加（3 滴）	水＋胰蛋白酶	水＋BAPNA	胰蛋白酶煮 4min 后，加 BAPNA	BAPNA＋胰蛋白酶	BAPNA＋胰蛋白酶
孵育条件	37℃	37℃	37℃	37℃	0℃
颜色变化					
阳性（＋）或阴性（－）结果					

(3) 用记号笔标记每个试管，按照表中方案处理每支试管，每种物质的用量为 3 滴。

(4) 将所有试管放在相应的水浴中约 1h。偶尔摇动试管架，使试管中物质混匀。

(5) 胰蛋白酶活性分析

由于 BAPNA 是人工合成的生色底物，经上述处理后，若样本混合物呈现黄色，说明发生了阳性水解，即染料分子与氨基酸分离。如果样本混合物仍然澄清，那么要检测的水解过程没有发生，反应呈阴性。将结果记录在表中。

3. 证明胆汁的乳化作用，评估脂肪酶消化脂肪的作用

在小肠中，脂肪和油的消化过程比碳水化合物和蛋白质的消化要复杂一些，它们需要用胆汁对脂肪进行乳化。其反应为：

第一，脂肪/油 $\xrightarrow[\text{乳化作用}]{\text{胆汁}}$ 小分子的脂肪滴/油滴

第二，脂肪滴/油滴 $\xrightarrow[\text{消化作用}]{\text{脂肪酶}}$ 甘油一酯 ＋ 脂肪酸

胰酶制剂是胰腺的酶产物，它包括能够消化蛋白质、碳水化合物、核酸和脂肪的酶。这里研究的是胰酶制剂的脂肪酶特性，即它能够水解脂肪和油生成甘油一酯和脂肪酸。

事实上，一些脂肪消化的最终产物为有机酸，它可以降低 pH，这一特性为鉴别脂肪消化是否进行或完成提供了简单的方法。我们可以用石蕊试纸跟踪酸性改变，在试验中，当试管中的物质变成酸性后，石蕊试纸从蓝色变成粉红色。

(1) 取 9 支试管和 1 个试管架，配制胰酶制剂溶液、石蕊膏、HCl、植物油和胆汁盐。

(2) 虽然肝脏的分泌产物胆汁不是酶，但是由于它具有乳化作用，所以在脂肪消化中起很重要的作用。乳化后的脂肪为酶活动提供了更大的表面积，这样就更有利于脂肪

的进一步消化。为了证明胆汁对脂肪的作用，准备两支试管，标为1E和2E。

1）试管1E加10滴蒸馏水和2滴植物油。

2）试管2E加10滴蒸馏水、2滴植物油和少量胆汁盐。

用封口膜将两支试管口封住，用力摇荡。试管放置在室温下，10～15min后，观察两支试管。如果没有发生乳化作用，油将漂浮在水的表面。如果发生了乳化作用，脂肪滴将悬浮在整个水中，形成乳浊液。

（3）按表7-1-4准备对照样本（试管1L和2L），和试验样本（试管3L～5L，4B和5B）。用记号笔标记每个试管，注意每种指定物质的用量为5滴。

表7-1-4　胰脂肪酶消化脂肪

试管号	1L	2L	3L	4L	5L	4B	5B
添加（5滴）	水+脂肪酶	水+石蕊膏	脂肪酶煮4min后，加石蕊膏	石蕊膏+脂肪酶	石蕊膏+脂肪酶	石蕊膏+脂肪酶+胆汁盐	石蕊膏+脂肪酶+胆汁盐
孵育条件	37℃	37℃	37℃	37℃	0℃	37℃	0℃
颜色变化							
阳性（+）或阴性（-）结果							

1）放少量胆汁盐到试管4B和5B中。

2）用封口膜封住上述试管的试管口，用力摇匀。

3）去除封口膜，将所有试管放在试管架上，放在相应温度的水浴中孵育1h。偶尔摇动试管架，使试管内物质混匀。

（4）脂肪酶分析

分析的基础是pH的变化，而这一变化是通过石蕊试剂进行检测。碱性或中性溶液遇石蕊试剂后呈蓝色，而酸性溶液呈淡红色。由于脂肪水解生成脂肪酸，pH降低，遇到石蕊试剂后可从蓝色变为淡红色，因此可以直接观察到水解作用是否发生。而无需其他测定实验。

1）准备对照颜色。在试管1L和2L中加入0.1mol/L HCl液滴直到石蕊变为淡红色（每次加入时，用封口膜封住试管口，摇匀）。

2）观察每支试管的颜色，将结果填入表中。

【注意事项】

1. 实验中要设对照，并注意把握好盐酸的加入量，使石蕊刚好变成淡红色时停止加入盐酸。

2. 严格控制酶溶液的温度。

【思考题】

1. 简述唾液的成分与作用。唾液淀粉酶进入胃后还有活性吗？

2. 论述胆汁乳化对脂肪消化的作用与意义。

3. 胰液的消化能力这么强，为什么胰腺本身不被消化？

实验 7-2 大白鼠胃液分泌的调节

【目的要求】

1. 学习测定胃液分泌的实验方法。

2. 观察胃的泌酸机能及迷走神经和组织胺对胃液分泌的调节作用。

【原理】

胃黏膜有许多腺体。胃底和胃体黏膜的腺体分泌胃蛋白酶和盐酸，一般所称的胃液，就是指这部分液体。在一般情况下，胃液的分泌受神经与体液调节。

【动物与器械】

大白鼠；常用手术器械、刺激器、止血钳、细塑料管（直径 2～3mm，长约 15cm）、纱布垫、碱式滴定管和支架、2mL 及 5mL 注射器、100mL 锥形瓶、保护电极、棉线、0.01mol/L NaOH、1%酚酞、3%戊巴比妥钠、0.5mg/mL 阿托品、0.01%磷酸组织胺、生理盐水。

【方法与步骤】

1. 取 350g 以上大白鼠两只，雌雄均可。预先禁食 18～24h，任其自由饮水。实验开始时，用 3%戊巴比妥钠溶液腹腔麻醉，剂量为 30～50mg/(kg 体重)，用棉绳缚其四肢，背位固定于手术台上。

2. 将颈中部被毛剪去，作长约 1.5cm 的皮肤切口，分离肌肉，找出气管，插入塑料气管插管。

3. 将上腹部被毛剪去，在剑突下腹部正中剪一长约 3cm 的切口，沿腹白线剖开腹腔，在左上腹内找到食管、胃和十二指肠。将胃移至腹腔外蘸有生理盐水的纱布垫上，于贲门处分离食管表面的胃迷走神经，穿线备用。用另一根线穿绕贲门一周，在大白鼠口腔内插入塑料套管，套管一端达咽部，另一端在口腔外。将细塑料管通过此套管、食管、贲门而插入胃内约 2cm。用手指在胃表面触到胃内的细塑料管后，即将贲门处的线结扎，以免套管滑脱。

4. 在胃和十二指肠交界处穿两根线，两线相距约 1cm。先把十二指肠远端的线结扎，然后在十二指肠近幽门端的肠壁上剪一小孔，把细塑料管向幽门方向插入胃内，深约 1cm，用事先准备好的线结扎，以固定此塑料管。

5. 胃液样品的收集和胃酸的测定

用注射器将大量温热的生理盐水冲洗胃，使残留食物由胃插管流出体外，流出的盐水澄清时即表示胃被洗净。然后将胃送入腹腔，用蘸有温热生理盐水的纱布垫覆盖，避免体温下降，或用灯照射以维持动物体温。30min 后，每次用 5mL 生理盐水冲洗胃，用锥形瓶收集由幽门端流出的液体 2min，连续冲洗 3 次，共收集 3 个胃液样品，以此作为正常对照。

以酚酞为指示剂，用 0.01mol/L NaOH 溶液滴定每次所收集的胃液样品，将中和胃酸所用去的 NaOH 量（L）×NaOH 溶液浓度（mol/L），所得的 NaOH 摩尔数即为每次胃酸排出量，换算成 μmol/(L · 2min) 来表示。

6. 迷走神经对胃液分泌的调节作用

刺激迷走神经，每次持续 5s，间隔 20s、30s 后按上法收集样品和测定胃酸排出量。

7. 组织胺对胃液分泌的作用

切断迷走神经，待 20min 后，收集一次对照样品，立即从皮下注射磷酸组织胺 1mg/（kg 体重），再连续收集 3～4 个样品，测定其胃酸排出量。

8. 阿托品对胃液分泌的作用

用另一只大白鼠，找出两侧迷走神经。刺激迷走神经，收集两次胃液样品，测定其胃酸排出量，然后再从皮下注射阿托品 1mg/（kg 体重）5min 后再重复刺激迷走神经，并收集 2 次胃液，测其胃酸含量，比较结果有何不同？

【注意事项】

1. 为保证胃液分泌，大白鼠不宜麻醉太深。

2. 因大白鼠的迷走神经很细，容易拉断，分离时要非常细心。

3. 实验中，要求生理盐水温热，以维持动物体温。

【思考题】

1. 迷走神经、组织胺及阿托品对胃酸的分泌有何作用？

2. 实验前，为什么要对大白鼠进行空腹处理，这对胃液调节，即实验结果有何影响？

3. 影响胃液分泌的因素还有哪些？

实验 7-3　食物推进和混合的机制

【目的要求】

1. 说明吞咽既是自动活动又是反射活动的原因。

2. 掌握舌、喉和胃食管括约肌在吞咽中的作用。

3. 分析作为推进机制的分节运动和蠕动的异同。

【原理】

尽管酶消化在整个食物消化过程中起到重要的作用，但食物消化还是离不开机械运动（如咀嚼和搅动），并且食糜沿消化管运动也是以机械的形式。任何时候，机体运动都需要肌肉的参与，胃肠运动也不例外。一般认为平滑肌主要参与内脏活动，但在消化过程中，平滑肌和骨骼肌都有参与，而吞咽很大程度上就是骨骼肌活动的结果。

【动物与器械】

水罐、纸杯、听诊器、酒精纱布、一次性手套。

【方法与步骤】

1. 准备一罐饮用水、听诊器、纸杯、酒精纱布和一次性垃圾袋。

2. 一边吞咽一口水，一边有意识地注意这个过程中舌头的运动。记录你的观察。

3. 重复吞咽过程，让你的搭档从外部观察你的喉部运动（这个运动男性更明显，因为男性有喉结）。记录观察的结果。

4. 用酒精纱布擦拭听筒，戴上听诊器。然后，当重复吞咽第 2 次和第 3 次水时，由搭档将听诊器的隔膜放在你的腹壁上（剑突以上 2.5cm、稍靠左处）听音。可听到两种声音——一个是当水溅到胃食管括约肌上的声音；另一个是当食道的蠕动波到达括约

肌，括约肌开放，水冲进胃的声音。尽可能精确地测定两个声音的时间间隔并记录。时间间隔表示吞咽的蠕动波通过差不多 25cm 长食道的时间。

5. 了解分节运动和蠕动。

【注意事项】

使用听诊器听音时，尽量让周围安静，防止干扰。

【思考题】

1. 列举胃肠道平滑肌运动的主要形式，指出哪几种是基本形式，哪几种是特有形式，其各自作用如何？

2. 正常情况下，胃内容物不会逆流回食管，解释这一现象的原因。

3. 简述分节运动和蠕动的异同。

实验 7-4　离体肠段平滑肌的生理特性

【目的要求】

1. 学习离体肠段平滑肌的实验方法。

2. 了解肠段平滑肌的生理特性。

【原理】

平滑肌（smooth muscle）细胞是气道、消化道、血管、泌尿生殖器等器官的主要组成成分，它收缩时产生张力并缩短，为这些器官的运动提供动力，也可以使这些器官的形态发生改变。平滑肌还可产生持续性（sustained）或紧张性（tonic）的收缩，以对抗外加的负荷，从而保持器官的形状。平滑肌的功能特点反映了它在细胞结构和收缩机制方面与横纹肌的不同之处。

哺乳动物消化管平滑肌具有肌组织共有的特性，如兴奋性、传导性和收缩性等。但消化管平滑肌又有其自身的特点，即兴奋较低、收缩缓慢、富有伸展性、具有紧张性、自动节律性、对化学、温度和机械牵张刺激较敏感等。这些特性可维持消化管内一定压力，保持胃肠道等一定的形态和位置，适合于消化管内容物的理化变化，在体内受中枢神经系统和体液因素的调节。将离体组织器官置于模拟体内环境的溶液中，可在一定时间内保持其功能。本实验以台氏液做灌流液，在体外观察及记录动物离体肠段的一般生理特性。

【动物与器械】

家兔；支架、一维位移微调器、恒温平滑肌槽、烧杯、20mL 注射器、JZ100 型张力传感器、计算机采集系统、温度计（2 支）、培养皿、棉线、缝针、台氏液、肾上腺素（1∶10 000）、乙酰胆碱（1∶10 000）、阿托品针剂（1 支）。1mol/L HCl、1% $BaCl_2$、1mol/L NaOH、0.01% 磷酸组织胺。

【方法与步骤】

1. 熟悉实验仪器与装置（图 7-4-1），调节麦氏浴槽外的水浴温度为 37℃，而浴槽内调温至 37℃±0.5℃。

2. 制备离体兔肠段

用立掌或锤子猛击兔后头延髓部，致其昏迷后立即剖开腹腔，找到胃幽门与十二指

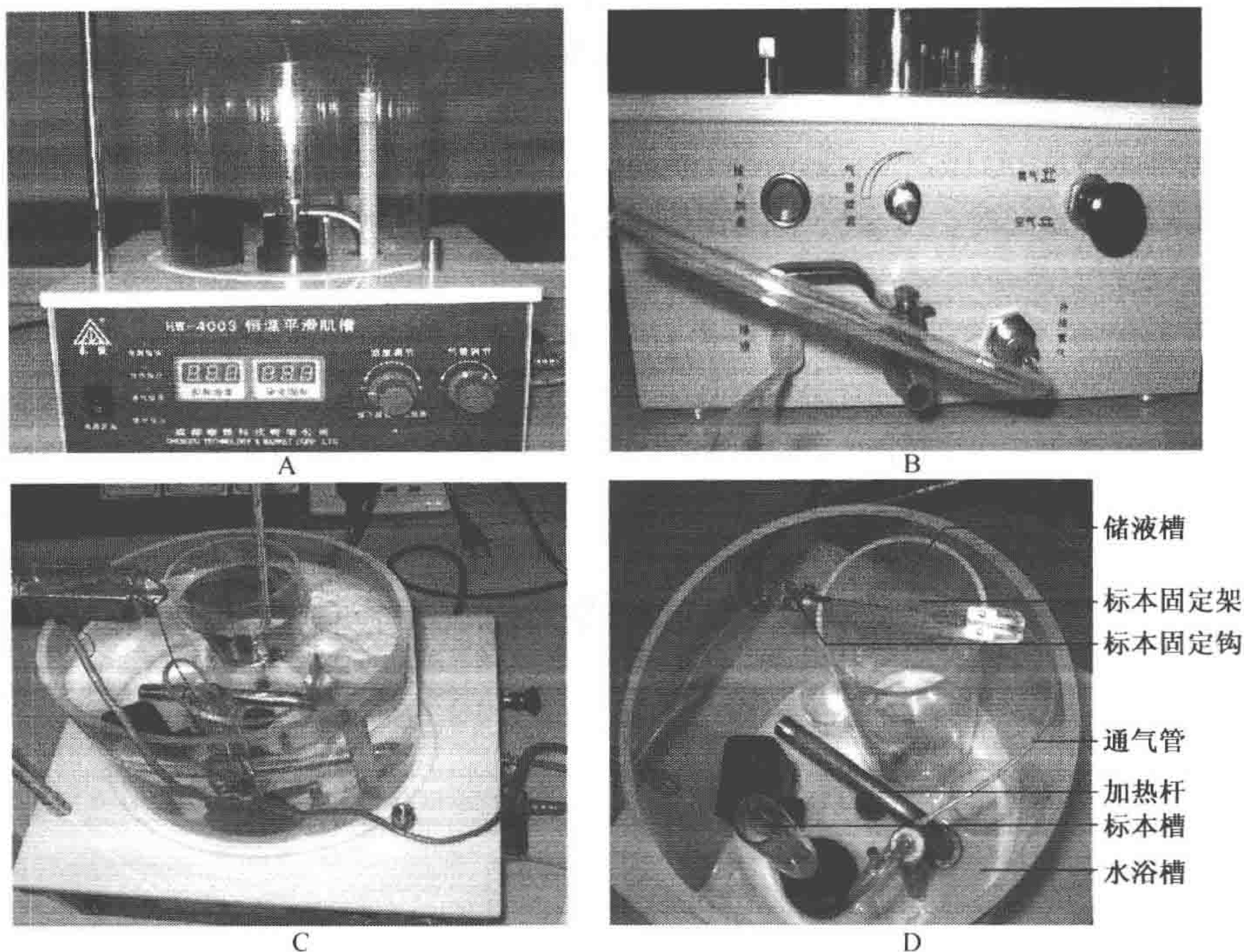


图 7-4-1　平滑肌实验装置示意图

肠交界处。在十二指肠起始端扎一线，剪取十二指肠、空肠，放入 35℃的台氏液内。先用 20mL 注射器冲洗肠内容物，冲洗干净后剪成若干约 1.5cm 长的小肠段（每一实验小组一段）。用缝针在其两端穿线结扎，一端做一短线环固定在标本固定钩上，将带肠段的标本固定架放入标本槽中并固定好，另一端扎线与张力传感器相连。将肠段完全浸浴在调好温度的恒温平滑肌槽中，并调好台氏液充气量（小气泡接连不断）。

3. 开启计算机采集系统，接通与张力传感器相连的通道。调节扎线与张力传感器连接的紧张度，使肠段运动自如又能牵动传感器（注意：扎线不能贴壁或过紧过松）。调节增益与扫描速度，使肠段的运动曲线清晰的显示在显示器上并记录肠段活动曲线。

4. 实验观察

（1）记录对照肠段运动曲线后，停止供气 1min 并记录曲线变化，同时观察肠段紧张度变化。当出现明显变化后，立即恢复供气。用新鲜 37℃台氏液冲洗，等恢复正常。记录曲线如图 7-4-2。

（2）加入 45℃台氏液，并记录曲线变化，同时观察肠段紧张度变化。当出现明显变化后，立即用新鲜 37℃台氏液冲洗，等恢复正常。

（3）向标本槽中依次加入下列各种药物，观察和记录肠段运动的变化。当出现明显变化后，立即用新鲜 37℃台氏液冲洗，等恢复正常。

2% $CaCl_2$　　2 滴

肾上腺素（1∶10 000）　　1～2 滴

乙酰胆碱（1∶100 000）　　1～2 滴

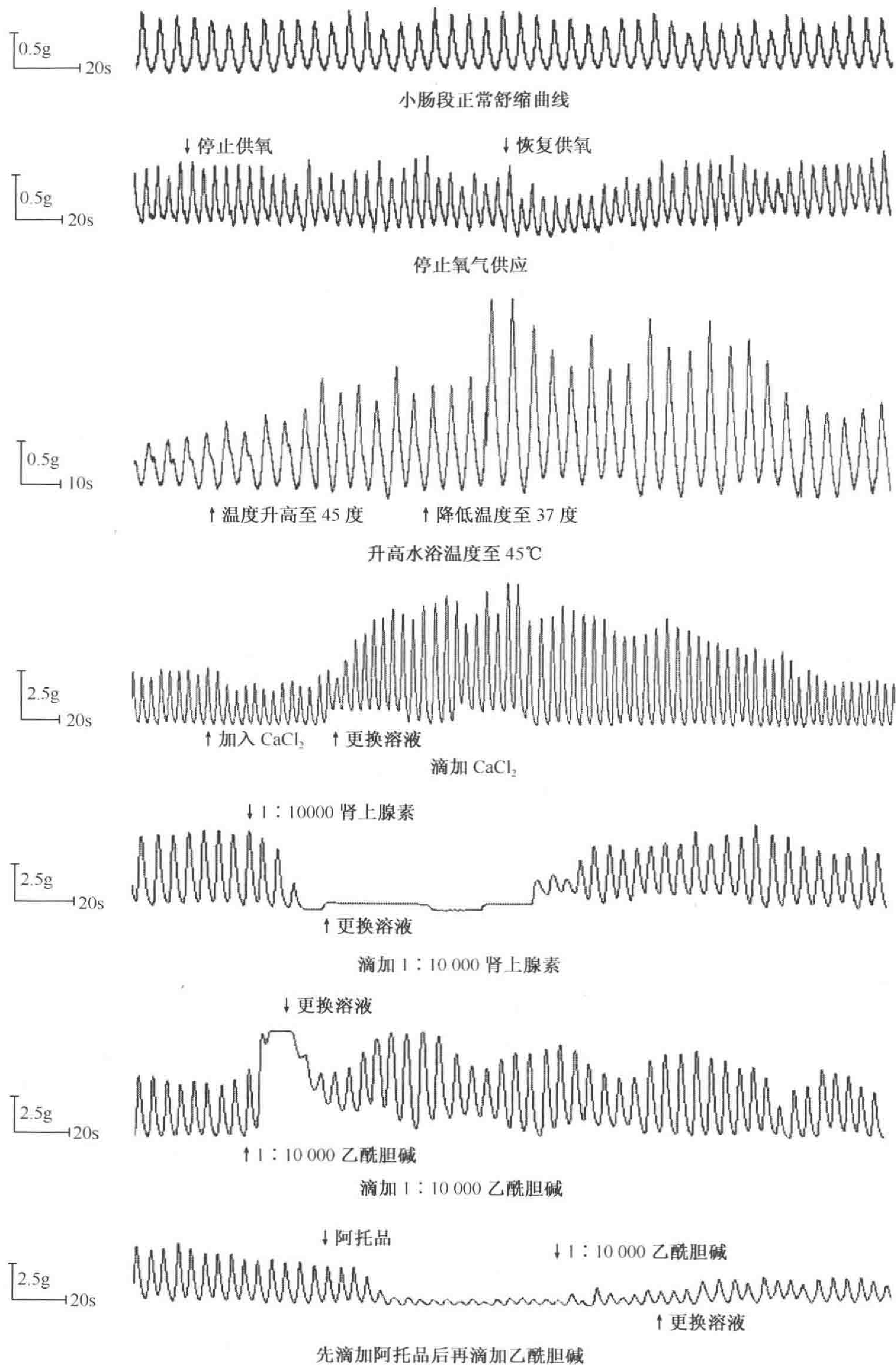


图 7-4-2 几种不同因素对离体肠段活动的影响

阿托品	2滴［再加入2滴乙酰胆碱（1∶10 000）］
1mol/L HCl	1～2滴
1%$BaCl_2$	2～3滴
1mol/L NaOH	1～2滴
0.01%磷酸组织胺	1～2滴

【注意事项】

1. 加药前必须准备好更换用的37℃台氏液。上述药物剂量只是参考，效果不明显的可补加。每次加药出现效果后，必须立即更换浴槽内的台氏液并冲洗3次，待肠肌恢复正常活动后再观察下一项目。浴槽内台氏液要保持一定高度。

2. 游离及取出肠段时，动作要快，取兔肠及兔肠穿线时，尽可能不用手指或金属触及。为保持离体肠段的特性，可用预冷充氧的营养液，游离肠段及穿线在预冷的营养液中进行。实验中始终要通气。

3. 在使用恒温灌流装置时一定要注意，先加了水才能开电源，使用完毕应先关电源再放水，以免出现危险。

【思考题】

1. 制备小肠平滑肌标本时，为什么不用药物麻醉后的兔小肠，而用击昏后的兔小肠？

2. 滴加药物后，肠段活动会出现哪些变化？原因何在？

3. 肠段肌张力较低时，滴加肾上腺素反而引起肌张力增高，是何原因？肌张力很高时，滴加乙酰胆碱反而使肌张力降低，是何原因？

实验7-5　动物离体肠段的电活动和收缩运动的同时记录

【目的要求】

通过实验了解一般消化管平滑肌的电变化及运动形式，以及某些药物对平滑肌的影响。

【原理】

平滑肌的一切生理过程都进行得很慢，但也和其他的活组织一样，在兴奋活动的过程中伴随有电活动变化。当离体肠段进行自发性活动时，能产生节律性的、自发性的、缓慢的去极化传导波，叫做慢波，也称为基本电节律，基本电节律与平滑肌的蠕动性收缩节律相同，但是基本电节律本身并不一定触发平滑肌收缩，只有在慢波的基础上发放峰形电位（快波）时，平滑肌才能发生收缩。如施加药物作用于平滑肌后，快波和收缩活动消失，而慢波电位却依然存在。

平滑肌除受交感和副交感神经支配外，还有丰富的内在神经丛，称为肠神经系统。因此，平滑肌对化学物质的作用十分敏感，常用于某些化学物质和药物的生物测定，在药理学的研究中应用广泛。

【动物与器械】

家兔；生物信号计算机采集系统、JZ100型张力换能器、HW-400S平滑肌恒温槽、氧气钢瓶、吸附电极、手术器械、乙酰胆碱（1∶10 000）、肾上腺素（1∶10 000）、台氏液。

【方法与步骤】

1. 将家兔击昏后，立即剖腹，按顺序取出各肠段（十二指肠、空肠和回肠），用37℃台氏液冲洗内容物，然后分别置于装有台氏液的烧杯中，放于37℃恒温水浴中备用，注意通氧气。

2. 按图 7-4-1 将连接好仪器，调节浴槽温度保持 37℃。

3. 将实验用的十二指肠肠段（约 2.5cm）的一端钩在浴槽隔板的小钩上，另一端钩在与换能器应变梁相连线的小沟上，接通生物信号采集处理系统，待标本稳定后，把吸附电极轻轻地吸在标本的浆膜面上。调节放大器的灵敏度为 2.5mv/div，时间常数为 0.1s，扫描速度为 10s/div，同时记录肠段的电活动和收缩运动，注意在慢波上是否有快速峰形电位产生，连续记录 3min。

4. 用同样方法记录空肠和回肠离体肠段标本的电活动和收缩运动的图形（图 7-5-1）。

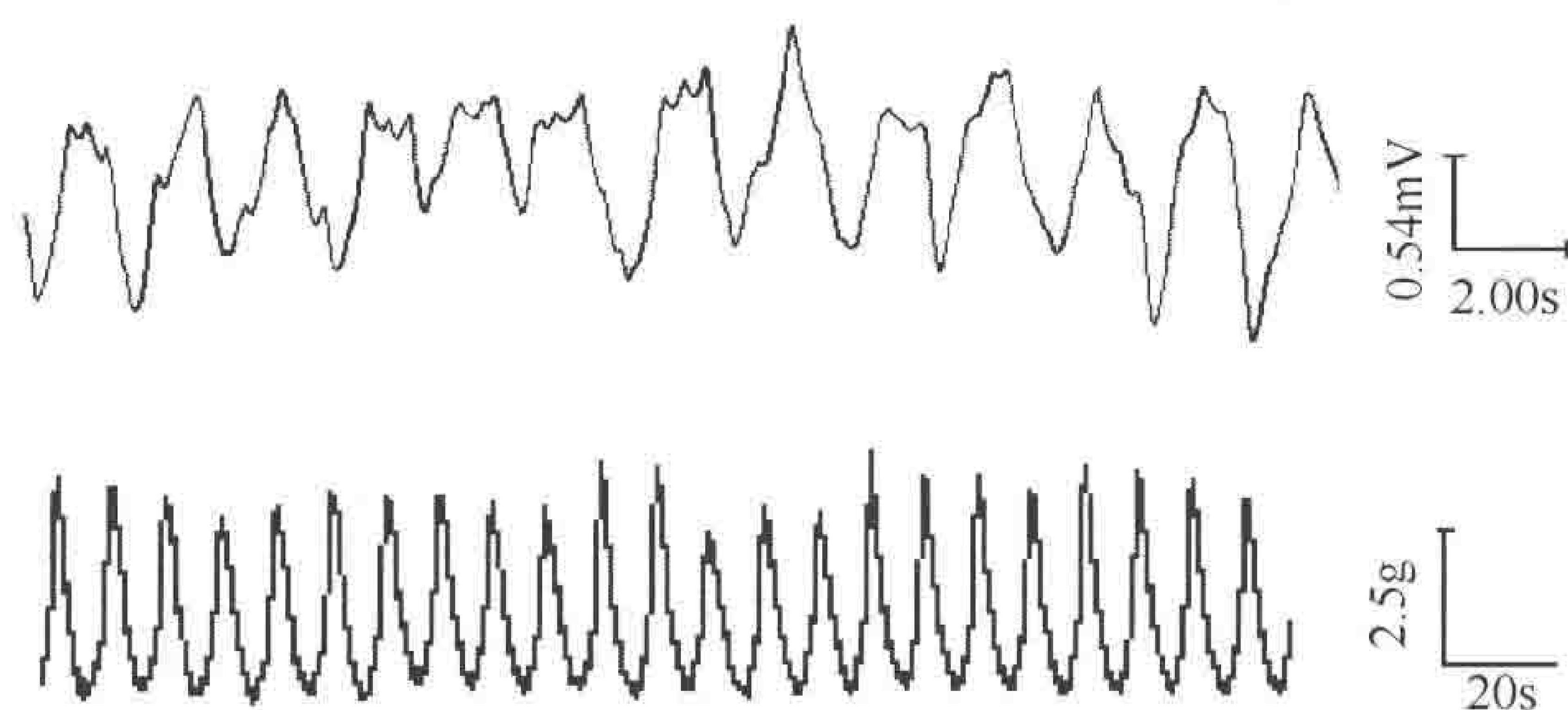


图 7-5-1　离体肠段电活动（上）和收缩活动（下）记录

5. 换用另一段十二指肠标本，先记录在正常台氏液中的电活动和收缩运动的图形，然后在浴槽中滴入几滴乙酰胆碱（1∶10 000）溶液，观察电活动和收缩运动有何变化，并进行记录以便对比分析。

放去浴槽中的浴液，并放入新鲜的台氏液冲洗标本两次，再记录一段正常台氏液中的电活动和收缩运动的图形，观察其恢复的情况，然后在浴槽中滴入几滴肾上腺素（1∶10 000）溶液，同样观察电活动和收缩运动的变化，并进行记录，同法冲洗标本两次，记录观察恢复情况。

6. 若时间允许，用 5 的方法对空肠和回肠标本进行重复试验，以便比较。

【注意事项】

1. 经常检查浴槽是否恒温于 37℃，并不断通氧气，可在通气管的末端接上一条拉得很细的塑料管，通气时气泡很小即可。

2. 实验过程中要注意防止吸附电极脱掉。

3. 进行下一个指标的测定时，应用 37℃的台氏液冲洗标本 2 次，防止前一种药品的干扰。

【思考题】

1. 比较不同肠段的电活动和收缩运动的异同（对记录图进行整理剪贴）。

2. 讨论乙酰胆碱和肾上腺素对消化管平滑肌的作用。

3. 平滑肌细胞电活动与心肌细胞、骨骼肌细胞的电活动有何不同？

第八章　呼　　吸

机体与环境之间进行气体交换的全过程，称为呼吸。它包括三个方面：①外呼吸，指血液通过肺与外界环境进行气体交换的过程，包括肺通气（气体经呼吸道进出肺）和肺换气（肺泡与血液之间的气体交换）；②气体运输，指氧和二氧化碳通过血液在肺循环与体循环中的运送，是沟通内、外呼吸的渠道；③内呼吸，指血液通过组织液与组织细胞之间的气体交换过程。

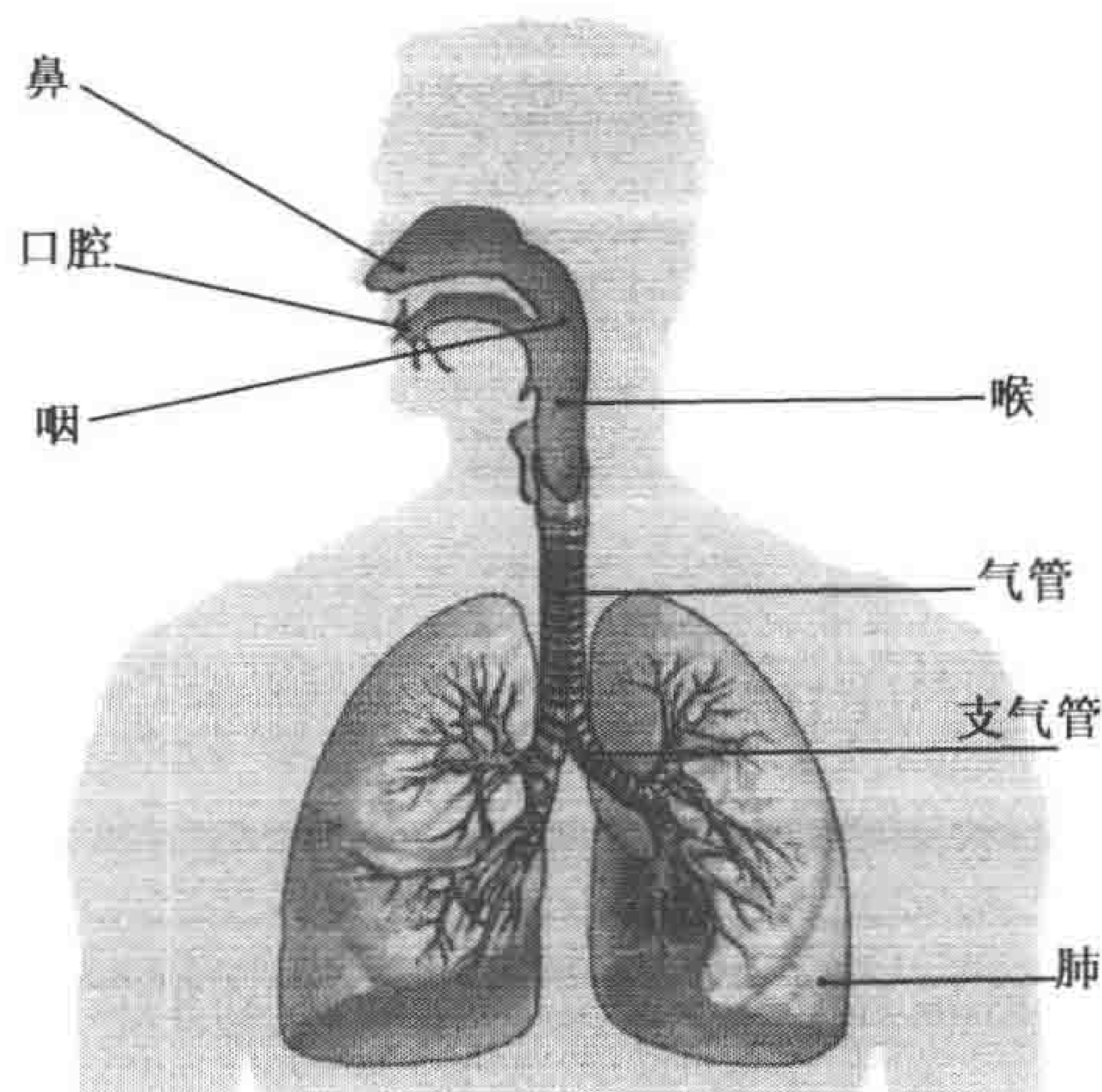


图 8-0-1　呼吸系统的组成

呼吸系统由呼吸道和肺两部分组成（图 8-0-1）。肺是外呼吸气体交换的场所，习惯上称为呼吸器官。呼吸道是气体进出肺的通道，由鼻、咽、喉、气管、支气管及其分支所组成。临床通常把鼻、咽、喉叫上呼吸道，把气管、支气管及其在肺内的分支叫下呼吸道。

1. 鼻。鼻是呼吸道直接与外界相通的器官，包括外鼻、鼻腔和鼻旁窦。外鼻孔里面衬以皮肤，上有鼻毛。鼻毛能过滤尘埃起净化空气的作用。鼻腔是由骨和软骨覆以黏膜而成，内有丰富的血管和腺体。其分泌的黏液能附着吸入空气中的灰尘、粉末、烟灰等小颗粒，然后随分泌物排出体外。鼻腔黏膜还起着增加吸入空气的温度和湿度的作用，有利于保持肺泡气的温度和湿度。鼻也是嗅觉器官。鼻旁窦是鼻腔周围颅骨内含气的空腔，共四对：上颌窦、额窦、蝶窦和筛窦。它们与鼻腔相通，开口于鼻道，里面衬的黏膜与鼻腔黏膜相连，故鼻腔黏膜发炎时可蔓延到鼻旁窦，引起鼻旁窦炎。鼻旁窦参与湿润和加温吸入空气，并对发音起共鸣作用。

2. 喉。喉不仅是呼吸道，也是发音器官，向上开口于喉咽部，向下与气管通连。喉是呼吸系统中构造比较复杂的器官，它是由软骨作支架，以关节、韧带和肌肉联结，内面衬以黏膜而构成。喉的软骨中以甲状软骨最大，它的中间向前方突出叫喉结。黏膜在喉腔形成两对皱襞，上方的一对称室襞，有保护作用。下方的一对称声带或声襞，两侧声襞之间的裂隙叫声门裂。气流振动声带和喉肌的收缩即发出声音（图 8-0-2）。

3. 气管和支气管。气管和支气管是连接喉与肺之间的管道部分，由软骨、黏膜等构成，气管和支气管均以“C”形软骨为支架，以保持其持续开放状态，气管软骨的缺口对向后方。由平滑肌纤维和结缔组织的膜壁所封闭。

气管和支气管的黏膜上皮均为假复层柱状纤毛上皮，夹有杯状细胞。纤毛细胞顶部的纤毛平时向咽部颤动，以清除尘埃和异物，使吸入的空气保持整洁。杯状细胞是一种具有分泌蛋白质特点的细胞。

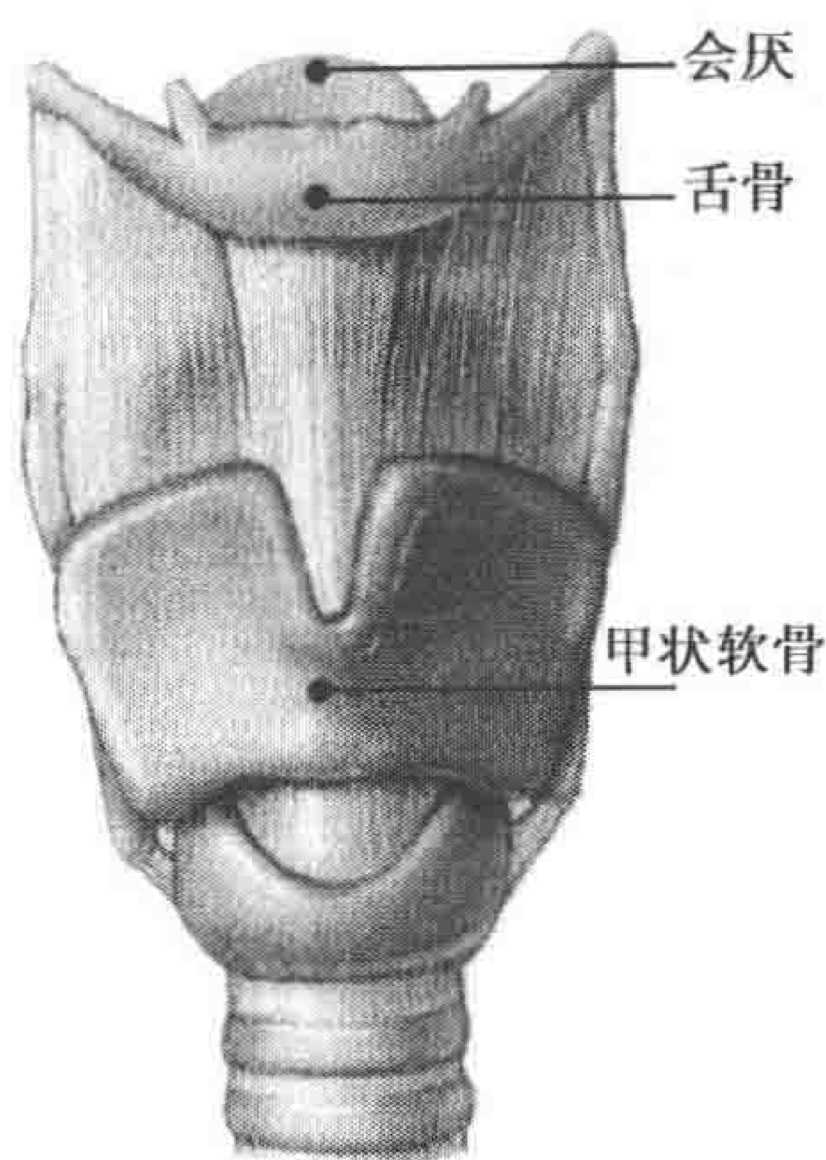


图 8-0-2　喉的结构

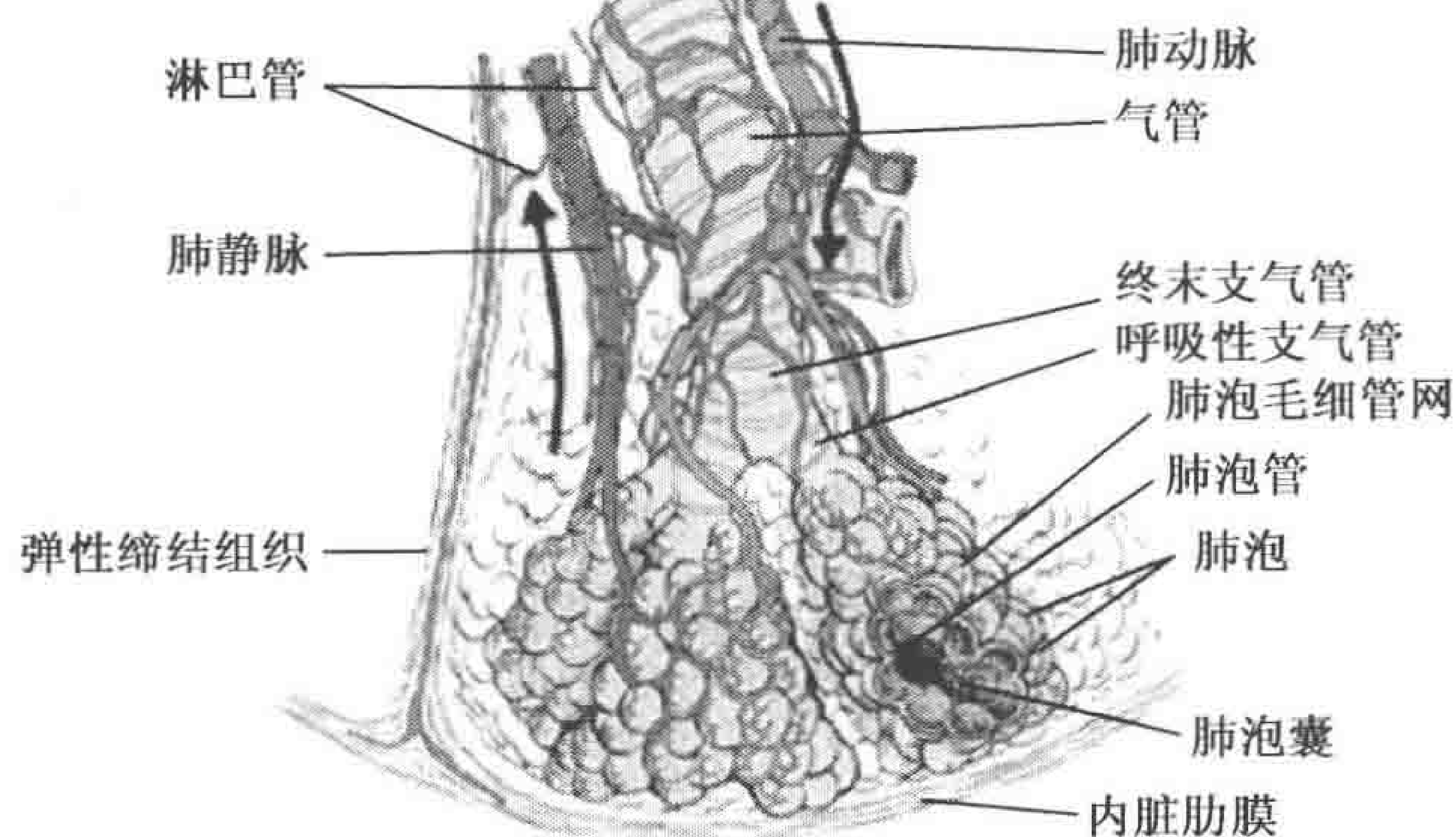


图 8-0-3　肺的导管部和呼吸部

4. 肺。肺是气体交换的器官，位于胸腔内，纵隔的两侧，左右各一。左肺有两叶，右肺有三叶。肺一般呈圆锥形，上部为肺尖，下部为肺底，面向纵隔的面为纵隔面，其中间有一凹陷，为肺门，是支气管、血管、淋巴管和神经出入肺的必经之处（图 8-0-3）。肺是由肺内导管部（支气管树）和肺的呼吸部（无数肺泡）所组成。

5. 胸膜和胸膜腔。胸膜为覆盖在肺表面、胸廓内面及膈上面的浆膜。覆盖在肺表面的叫胸膜脏层；覆盖在胸廓内面、膈上面及纵隔侧面的叫胸膜壁层。脏、壁两层在肺根部互相反折延续，围成两个完全封闭的胸膜腔。腔内仅有少量浆液，可减少两层胸膜间的摩擦，它是一个潜在腔隙。腔内压一般低于大气压，称为胸腔负压，它可使两层胸膜紧密相贴。因此，当胸腔扩大与缩小时，肺也随之扩大与缩小。

实验 8-1　通气量的测定及呼吸音的听诊

【目的要求】

掌握通气量测定方法，并通过实验了解下列术语，吸气（inspiration）、呼气（expiration）、潮气量（tidal volume，VT）、肺活量（vital capacity，VC）、补呼气量（expiratory reserve volume，ERV）、补吸气量（inspiratory reserve volume，IRV）、每分通气量（minute respiratory volume）（图 8-1-1）。了解支气管和肺泡的呼吸音。

【原理】

了解通气量的最简单的方法是用肺量计（spirometer）（图 8-1-2）记录进出肺的气体量。肺容积（pulmonary volume）、肺容量（pulmonary capacity）以及肺通气量是反映进出肺的气体量的一些指标。肺容积包括潮气量、补吸气量、补呼气量及残气量四种；而肺容量是指肺容积中两项或两项以上的联合气体量，有深吸气量、功能残气量、肺活量、肺总量等。

【材料】

肺量计、一次性接嘴、鼻夹、酒精纱布或棉球、听诊器、记录纸、橡皮接口、烧杯、70％酒精。

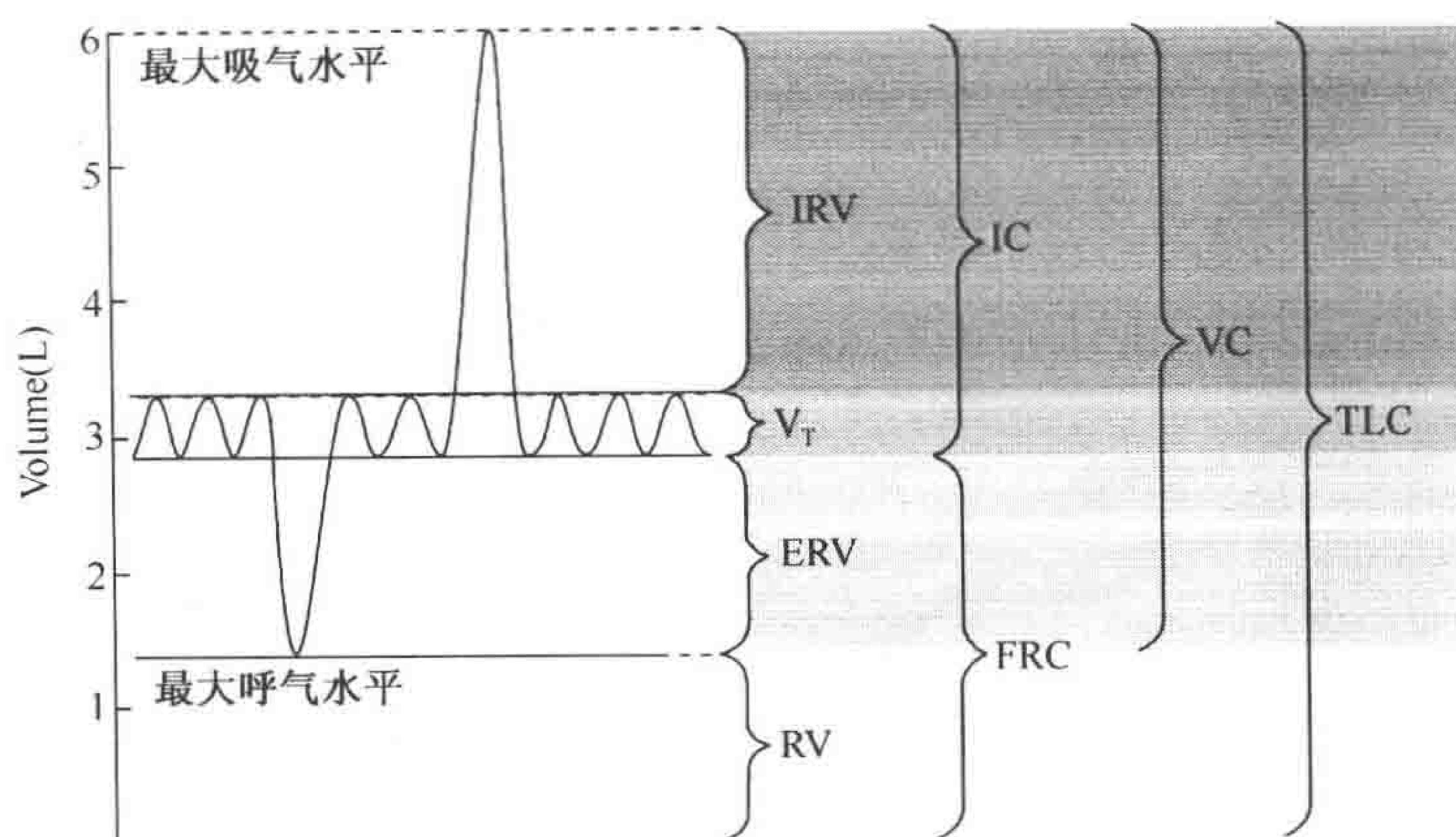


图 8-1-1　肺容积和肺容量

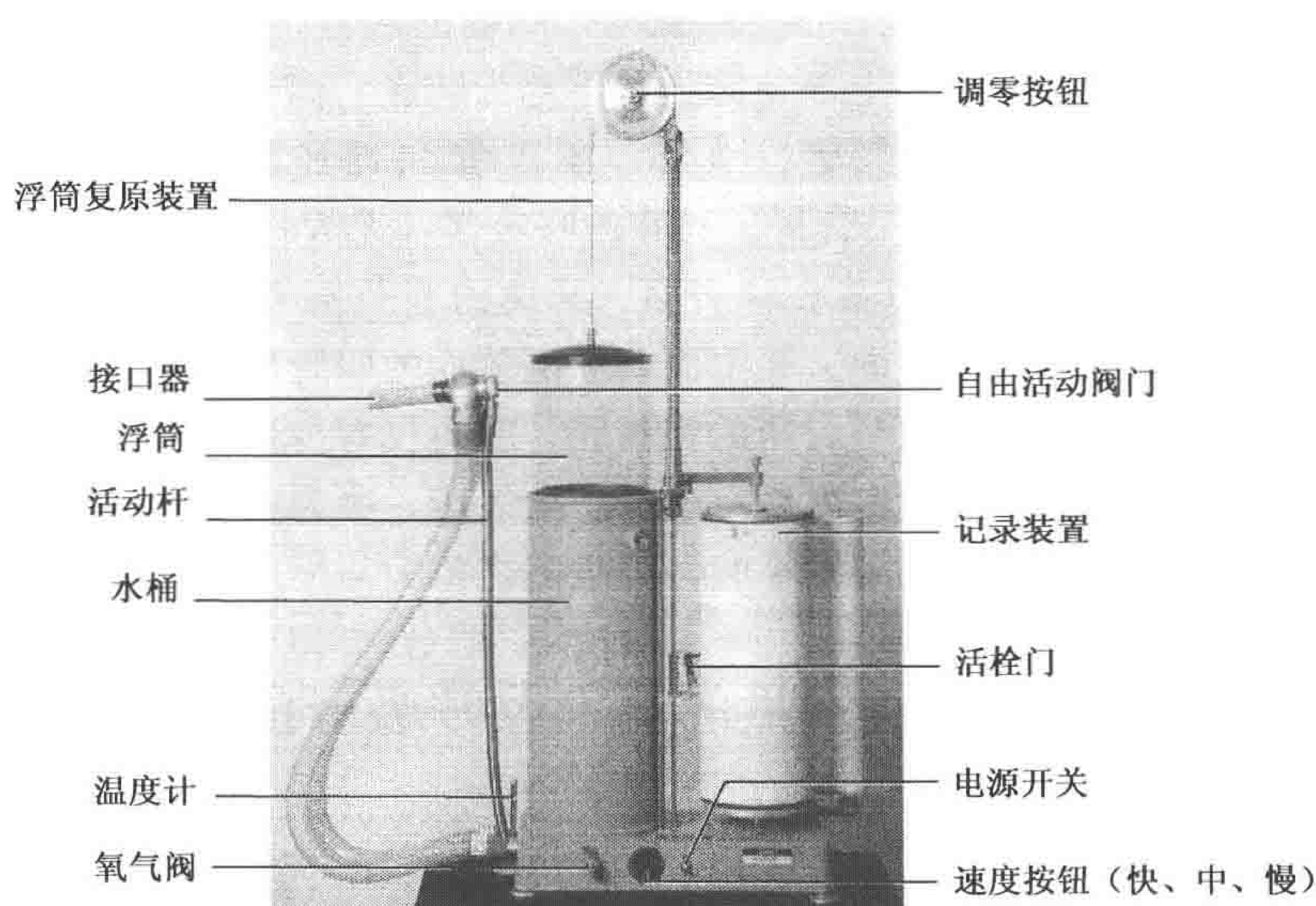


图 8-1-2　肺量计示意图

【方法与步骤】

1. 计数并记录受试者的正常呼吸频率。

2. 实验开始前，检查肺量计容量指示计（volume indicator），确保自己知道怎样读数。两人一组，一人作为受试者，另一人测试并记录结果。测试过程中，受试者应该直立。每次开始实验前，将指示计设为零。

取一次性接嘴，接在肺量计的阀门开口端。开始测试前，受试者应该练习用接嘴而不是鼻子呼气，或准备鼻夹（用酒精纱布清洁）阻止鼻呼吸。

每人测量三次，记录每次数据，计算平均值。

3. 潮气量（tidal volum，TV），是指正常呼吸时，每次呼出和吸入的气体量，正常值大约为 500mL。实验时，用肺量计接嘴正常吸气，然后正常呼气（不要用力呼气）。重复两次，计算平均 TV 值。

4. 用下面的公式计算受试者的每分通气量（minute respiratory volume，MRV）：

$$MRV = TV(mL) \times 呼吸频率（次数/min）$$

5. 补呼气量（expiratory reserve volume，ERV），是指在正常呼气后，再尽力呼出的气量，范围是：1000～1200mL。正常呼吸两至三次，然后用接嘴，尽最大可能呼气。重复两次，计算平均 ERV 值。

6. 肺活量（vital capacity，VC），是指肺交换气体的总能力（TV、IRV 和 ERV 的总和），正常值为 4500mL，范围是 3600～4800mL。正常呼吸两至三次，然后俯身，尽量呼出所有的气体。然后抬起身体，尽可能吸气（尽量吸入最多空气非常重要）。迅速用接嘴，尽量呼气。重复两次，计算平均 VC 值。

7. 补吸气量（inspiratory reserve volume，IRV），是指正常吸气后再尽力吸气的气量。可用以上获得的 TV、ERV 和 VC 代入下面的公式计算出来。

$$IRV = VC - (TV + ERV)$$

8. 计算测量的平均肺活量与年龄、性别和身高的预计值相比是否接近。从附表四、五的男性和女性获得预计值。注意身高的单位应该换算成厘米。

身高：________ cm

预计 VC 值（从表中获得）：________ mL

按照下列公式，计算测量得到的 VC 值与预计 VC 值的百分率。

测量的平均 VC 值与预计 VC 值的百分率（%）＝测量的平均 VC 值/预计 VC 值 × 100%。百分率：________%

9. 残气量（residual volume，RV），是指在最大呼气后，仍残留在肺里的气量。那些不能从肺中排出的残留气体对呼吸来说很重要，因为它使气体交换得以连续。

虽然 RV 不能被直接测量，我们可以用下列因子估算它的值：

16～34 岁　因子＝1.250

35～49 岁　因子＝1.305

50～69 岁　因子＝1.445

用下列公式计算估计 RV 值：RV＝VC×因子

估计的 RV 值：________ mL

10. 比较各组的实验结果。

11. 记录完毕后，将使用过的接嘴放入一次性垃圾袋中；用 70%酒精擦拭阀门，然后用水冲洗。

【注意事项】

1. 每个指标测定前，应保证实验者从上个指标的测定中恢复正常，才进行下一个指标测量。

2. 测肺活量时，尽量在短时间内完成，呼气时不要停顿。

【思考题】

1. 呼吸通气量的影响因素有哪些？

2. 本实验中所测量的指标中，评价呼吸效率较好的指标和肺通气功能较好的指标

分别是哪个，为什么？

附　呼吸音（respiratory sound）的听诊

1. 取一支听诊器，用酒精棉球擦拭听筒。在听诊前，让酒精挥发。

2. 将听诊器的隔膜放在受试者咽的部位，听呼气和吸气时的支气管音。然后，沿着支气管继续听音，直到听不到声音。

3. 将听诊器放在胸部的以下位置，听呼吸时的肺泡音。注：主要在吸气时听到的声音。

（1）各个肋骨间。

（2）听诊三角区（背部小的凹陷区，这里肌肉没有覆盖到肋骨骨架；正好位于肩胛骨下部内侧）。

（3）锁骨下方。

提示：病变的肺部组织、黏液或脓能产生不正常的胸音，如啰音（粗的声音）和哮鸣（吹口哨的声音）。

实验 8-2　人体呼吸运动的描记及其影响因素

【目的要求】

1. 学习描记人体呼吸运动的方法。

2. 观察影响呼吸运动的若干因素。

【原理】

呼吸时胸廓大小的变化可以通过呼吸传感器（图 8-2-1）记录下来，成为呼吸运动曲线，用于观察某些因素对呼吸运动的影响。观察指标主要是呼吸频率与呼吸深度的变化。

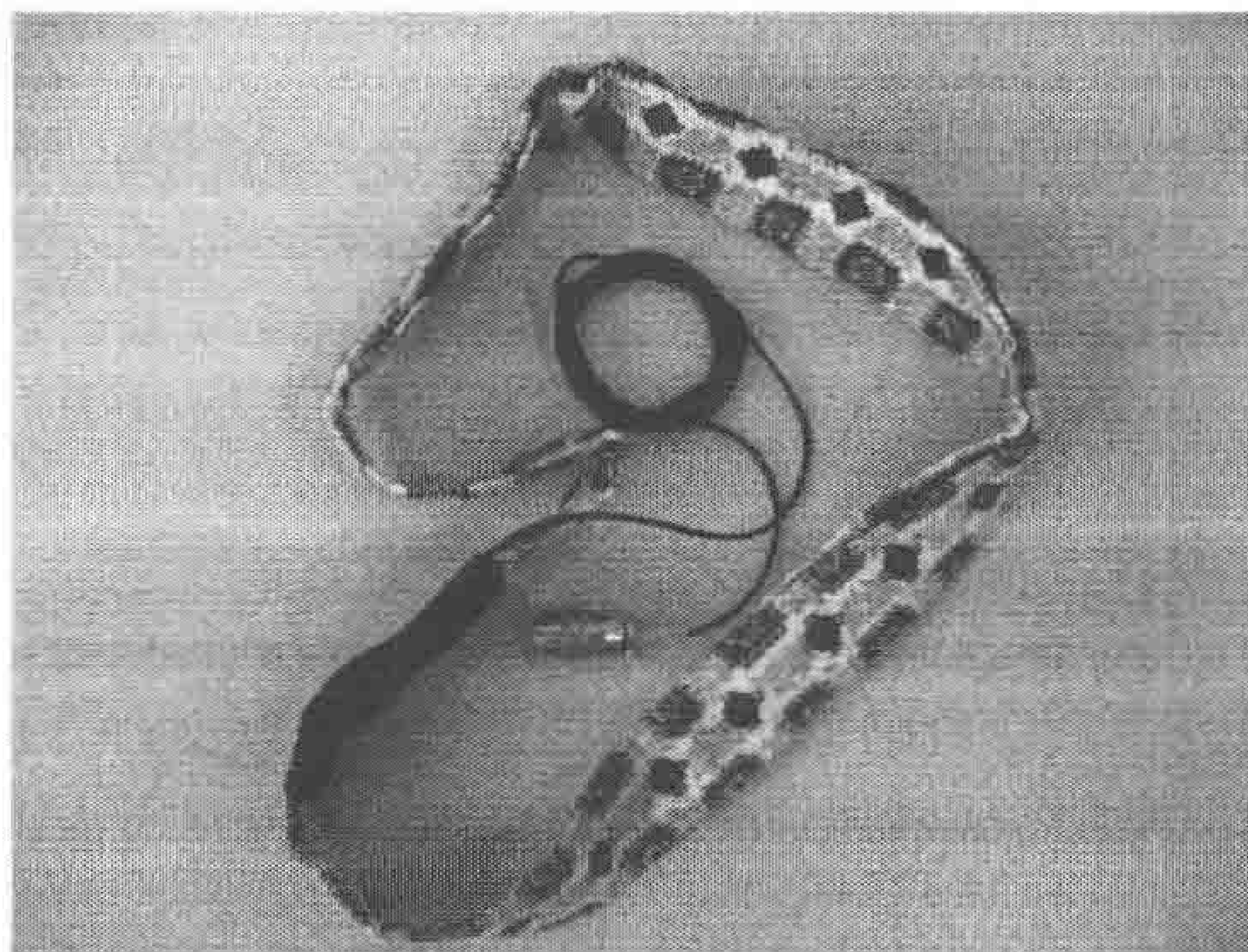


图 8-2-1　呼吸传感器

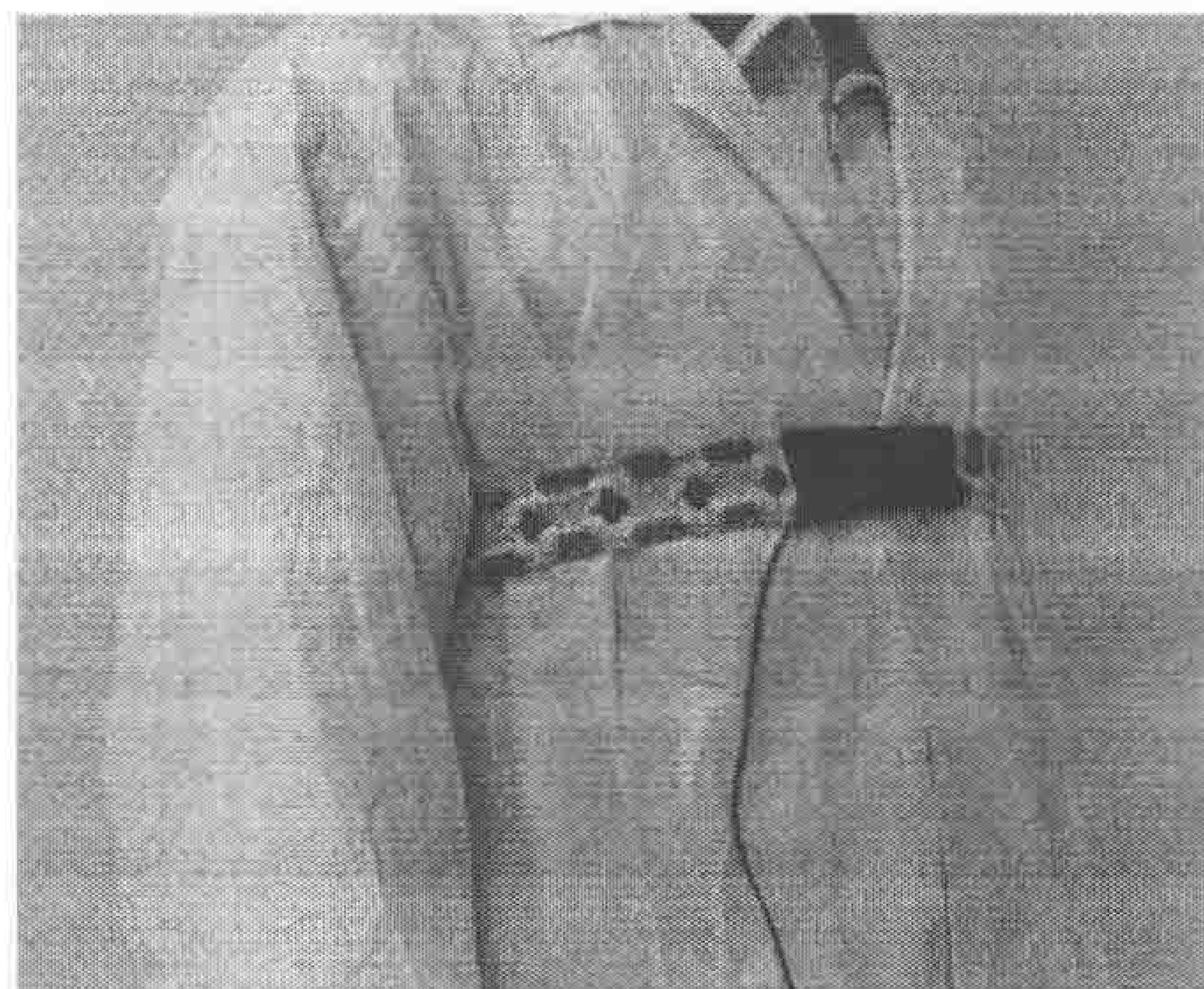


图 8-2-2　呼吸传感器固定位置

【实验器械】

生理信号计算机采集处理系统、压电型呼吸传感器。

【方法与步骤】

1. 为受试者系上呼吸描记器的胸带，位置在腋下约第六根肋骨水平。围绕胸腔不

要太紧，为胸腔扩张留出空间。但也要将带子固定好，防止滑脱（图 8-2-2）。

2. 记录受试者在坐姿下安静状态时的呼吸，计算出呼吸频率。

3. 记录受试者做以下活动时的呼吸，确保每次记录的精确性。

说话　喝水　打呵欠　咳嗽　大笑　躺着　站着　做数学题（集中注意力）　原地小跑

4. 让受试者过度呼吸约 30s（以 1 次/4s 的速度，深深地、用力地呼吸）。在过度呼吸前后都做好记录（图 8-2-3）。过度呼吸获得的图形轨迹与记录的肺活量轨迹有什么不同?

5. 过度呼吸后，通气速率（respiratory rate）比正常呼吸快还是慢?

6. 重复上面过度呼吸试验，不做记录。在过度呼吸后，尽受试者所能保持呼吸。测试在过度呼吸后，受试者保持呼吸的时间长短。

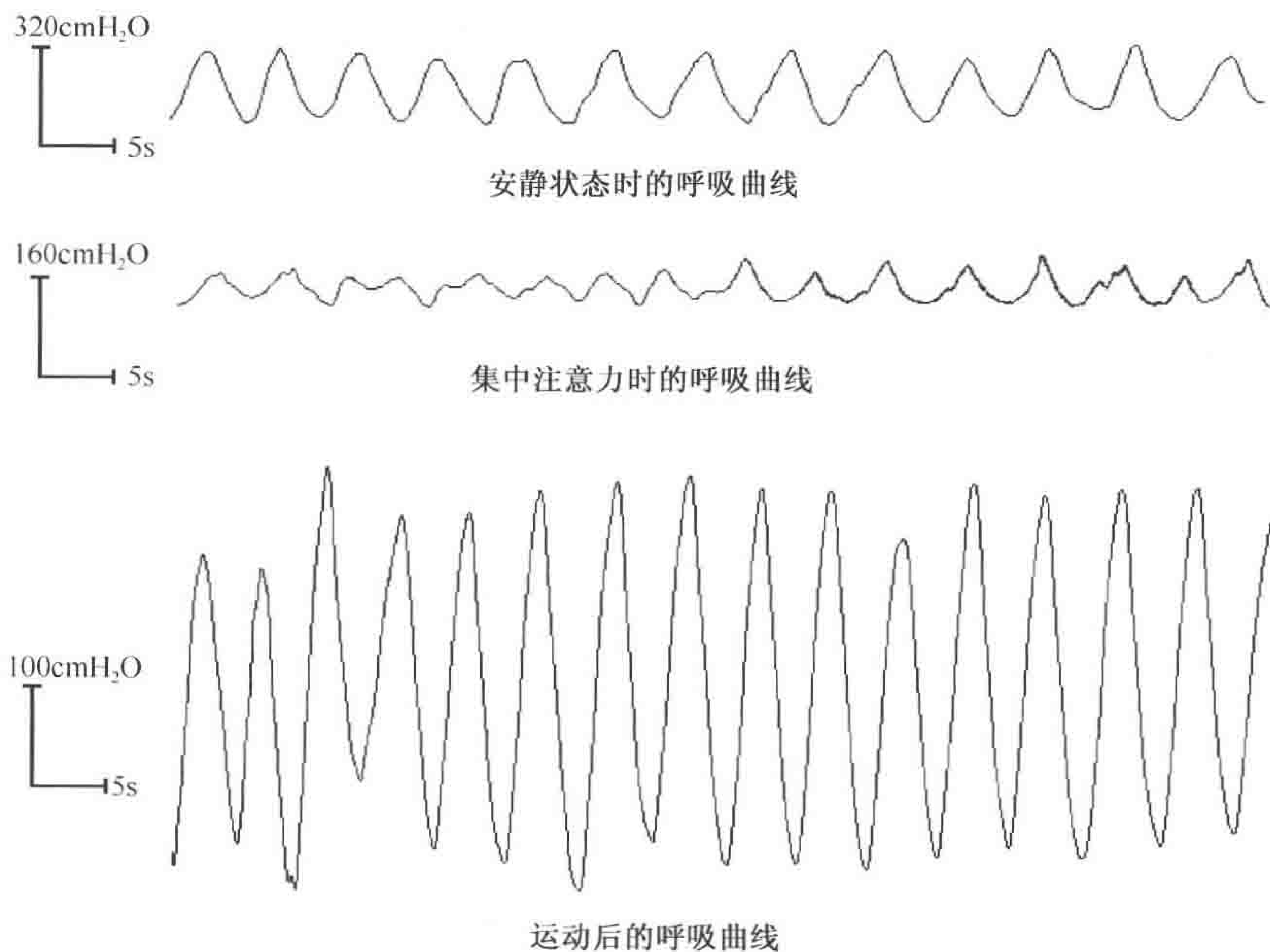


图 8-2-3　若干实验结果记录图

【注意事项】

1. 呼吸运动描记时，胸带应缠在胸部呼吸起伏较明显的水平位置，且松紧适当。以免太松了测不到呼吸的变化，太紧了容易损坏胸带并影响呼吸。

2. 每项实验后要记录一段恢复过程的曲线。

3. 做观察实验时应该保证一定的运动量，并在运动后马上测试，否则对照不明显。

【思考题】

1. 分析讨论各种因素引起呼吸运动变化的机理。

2. 为什么每项实验前要有对照曲线，实验后要记录一段恢复过程的曲线?

实验 8-3　家兔呼吸运动的神经调节

【目的要求】

1. 学习记录家兔呼吸运动的方法。

2. 观察并分析肺牵张反射及不同因素对呼吸运动的影响。

【原理】

动物的呼吸运动所以能持续地、节律性地进行，是由于体内调节机制的存在。体内外的各种刺激，可以直接作用于中枢或不同部位的感受器，反射性地影响呼吸运动，以适应机体代谢的需要。肺的牵张反射参与呼吸节律的调节。

【动物与器械】

家兔；手术台、常用手术器械、剪毛剪、计算机采集系统、JZ100 型张力换能器、支架、一维位移微调器、保护电极、气管插管、20mL 注射器、橡皮管（长 1.5m，内径 1cm）、止血钳、手术灯、25%氨基甲酸乙酯、纱布、棉球、棉线、生理盐水。

【方法与步骤】

1. 手术制备

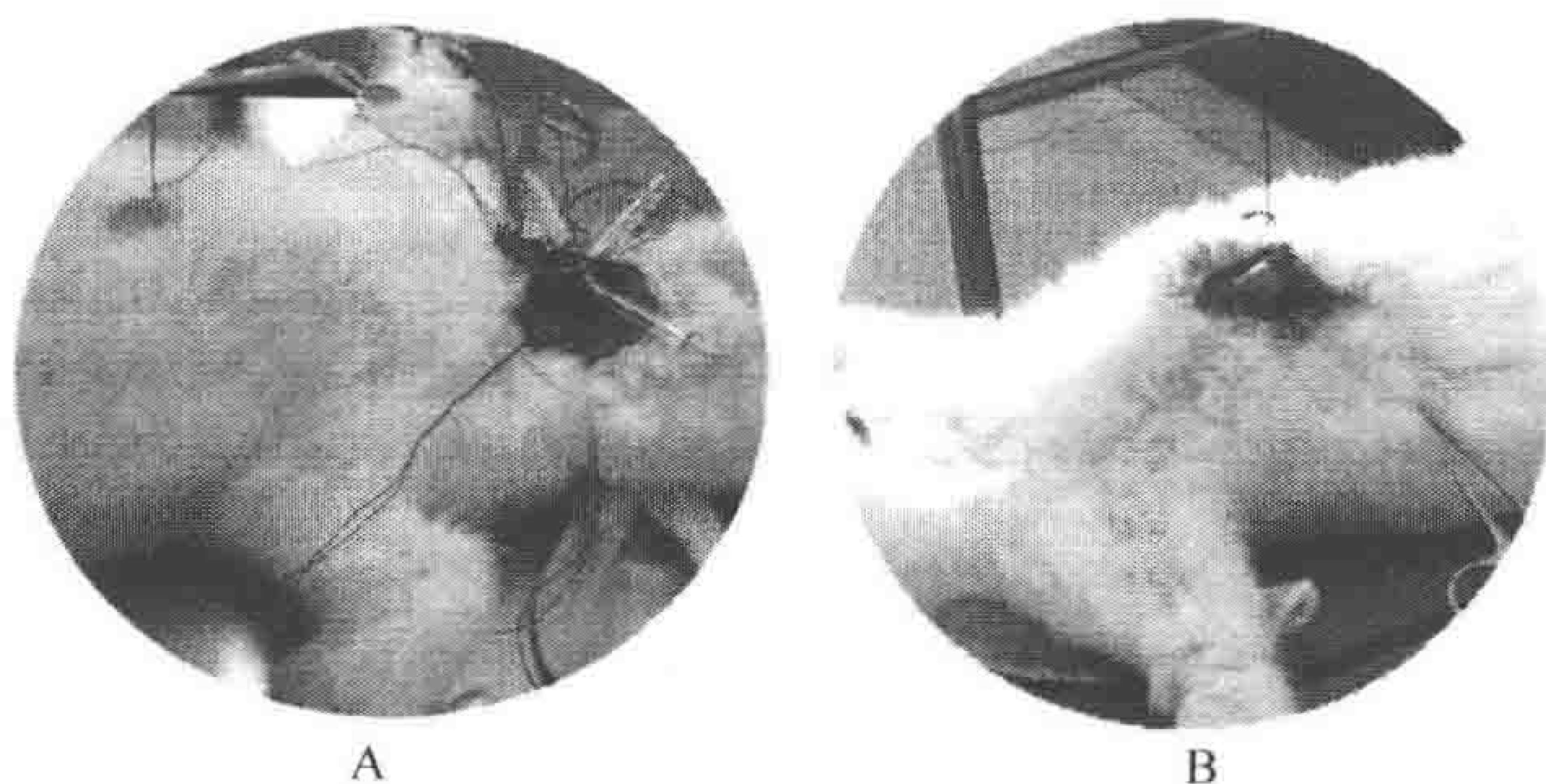
（1）家兔称重后，耳缘静脉缓慢注射 25%氨基甲酸乙酯（4mL/kg 体重）进行麻醉，麻醉后背位固定在手术台上。

（2）在颈部分离出气管两侧的迷走神经约 2cm，各穿一条线备用。

（3）用玻璃分针分离出气管（在第三气管环以后，约 1cm 长），在气管下穿一条线备用。用手术剪于 2～3 气管环之间剪一倒 T 形切口，用小棉球深入切口内除去气管内分泌物及血迹，以防窒息。

（4）从倒 T 形管切口处插入气管套管，用备用线结扎，并将线套在侧管上固定，以防套管滑脱。

2. 剪去剑突部位和上腹部的毛，自剑突处向下，沿腹正中线切开皮肤，再沿腹白线将剑突下方的腹肌切开约 1～2cm 的切口，就可见到膈肌、胸骨柄和剑突。小心地剪去剑突两侧薄薄的结缔组织，用蛙心夹夹住剑突边缘，并与张力换能器相连（图 8-3-1）。



A　　B

图 8-3-1　家兔呼吸运动的调节

A. 装气管插管；B. 暴露剑突，并与张力传感器相连

3. 开启计算机采集系统，接通张力传感器的输入通道，调节记录系统，使呼吸曲线清楚地显示在显示器上。

4. 实验观察

(1) 记录正常的呼吸运动曲线，并仔细识别吸气或呼气运动与曲线方向的关系。

(2) 增加无效腔对呼吸运动的影响。

将长约 1.5m、内径 1cm 的橡皮管连于气管插管的一个侧管上，用止血钳夹闭另一侧管，使无效腔增加，观察并记录呼吸运动曲线的改变，一旦出现明显变化，则立即打开止血钳，去除橡皮管，待呼吸恢复正常。

(3) 增加气道阻力对呼吸运动的影响。

待呼吸运动恢复正常以后，将气管插管的两个侧管同时夹闭数秒钟，观察呼吸

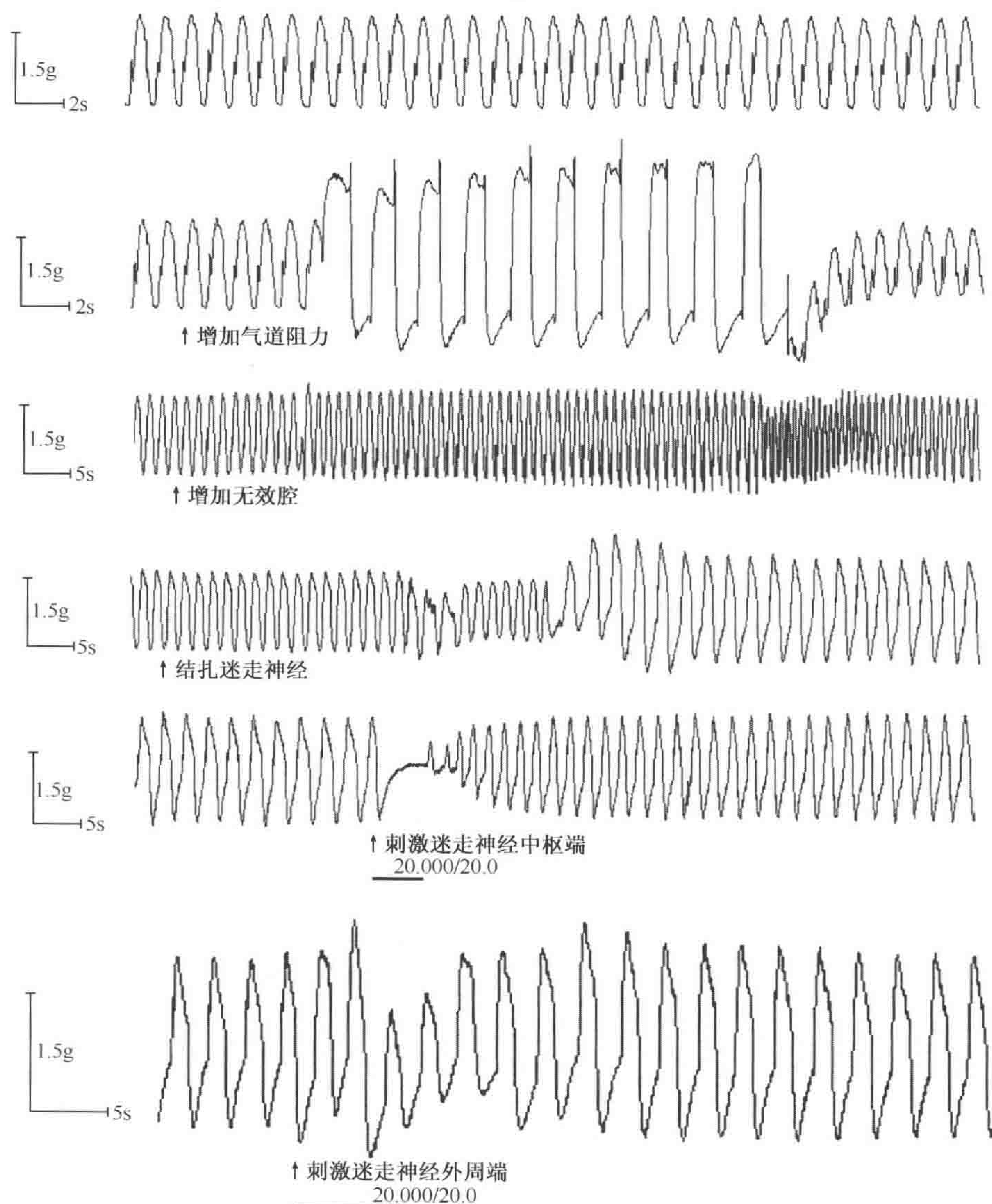


图 8-3-2 家兔呼吸运动的调节

变化。

(4) 肺牵张反射。

待呼吸恢复正常后，在气管插管的一个侧管上，连通一个 20mL 的注射器。并吸入 20mL 空气。待呼吸运动平稳后，用相当于正常呼吸时三个呼吸节律的时间，徐徐向肺内注入 20mL 空气，与此同时夹闭另一侧管。注意观察呼吸节律的变化及呼吸运动的状态。实验后立即打开夹闭的侧管。同法，在吸气末用注射器抽取肺内气体，观察呼吸状态有何区别（注意：注气与抽气时间仅限于三个呼吸节律的时间，然后立即打开夹闭的侧管）。

(5) 待呼吸运动恢复正常后，同时结扎两侧迷走神经（两人同时操作，第一结一定要紧、狠，务必阻断神经的传导），注意观察并记录结扎前后呼吸运动曲线的变化。

(6) 重复 (4)。

(7) 剪断双侧迷走神经，分别刺激中枢段和外周端，观察并记录呼吸运动曲线的变化（图 8-3-2）。

5. 整理实验记录并完成作业

【注意事项】

1. 随时注意动物麻醉的深度，如实验时间过长，动物经常挣扎，可补注少量麻醉剂。

2. 从倒 T 形管切口处插入气管套管时，应尽量快速，以免血液凝固堵塞了气管使家兔窒息，影响后续实验的进行。

3. 注气与抽气的时间限定为三个正常呼吸节律的时间。

4. 刺激神经之前，应先检查是否有刺激电流输出。

5. 神经需刺激时才拉出，不要一直由保护电极勾住，防止神经干燥。

6. 止血钳夹闭气管插管，观察并记录呼吸运动曲线的改变，一旦出现明显变化，则立即打开止血钳，去除橡皮管，待呼吸恢复正常。

7. 实验时须注意比较每项实验前后呼吸曲线的变化。

【思考题】

1. 增加无效腔时，呼吸运动会有何变化？为什么？

2. 切断双侧颈迷走神经后对呼吸有何影响？为什么？

3. 电刺激迷走神经向中端时，呼吸运动会不会发生变化？其机制如何？

实验 8-4　兔膈神经的传出放电

【目的要求】

学习膈神经传出放电的记录方法了解其对呼吸运动的调节功能。

【原理】

呼吸的节律性运动是受中枢调控的，延髓呼吸中枢产生的节律性冲动经膈神经和肋神经支配膈肌和肋间肌而产生有规律的呼吸运动。本实验在于观察膈神经的群集型放电与呼吸运动的同步，并观察迷走神经对呼吸运动的影响。

【动物与器械】

家兔；计算机采集系统，双芯针形肌电极、保护记录电极及电极支架，哺乳类动物常规手术器械一套，25%乌拉坦溶液、液体和石蜡、兔实验台。

【方法与步骤】

1. 动物麻醉与固定：用25%乌拉坦溶液4mL/（kg体重）剂量缓慢注入耳缘静脉，待动物麻醉后仰卧固定于兔实验台上。

2. 分离膈神经，剪去颈部兔毛，自胸骨上端向颈部作一正中切口，长约8cm，用止血钳分离皮下组织，可见胸锁乳突肌及其内侧的气管和颈外静脉，继续用止血钳在颈外静脉和胸锁乳突肌之间向深处分离，即可见到较粗的向外横行的臂丛神经。在臂丛神经的内侧端分支出一条较细的神经，它横过臂丛神经并向后内侧走行，这就是膈神经。兔膈神经是由第Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ对颈神经的腹支汇合，进入胸腔支配膈肌的活动，认清膈神经后，用玻璃分针将膈神经分离1～2cm，在神经下穿线备用。

在分出的膈神经一侧，用止血钳夹住伤口外侧的皮肤，向上、向外牵拉固定，形成一皮槽，用温热石蜡油（38～40℃）浸没神经，起保温、绝缘和防止神经干燥作用。

3. 分离两侧迷走神经，按照分离减压神经的方法，将两侧迷走神经分离一小段，在神经下穿线备用。

4. 插入描记呼吸节律的肌电极：将一双芯针形肌电极，插入肋间外肌，以描记呼吸运动中的肌电变化。

5. 将仪器连接好，调整好仪器的平衡和零点，时间常数0.1s，高频滤波10kHz，总灵敏度100μV/cm，然后进行下列各项观察。

（1）观察膈神经放电：将膈神经钩在保护电极上。注意神经不可牵拉过紧，记录电极应悬空，避免触及周围组织。颈部皮肤通过银片夹子妥善接地，观察自然呼吸状态下的膈神经放电情况。

（2）观察自然呼吸状态下肋间外肌肌电发放情况。

（3）观察神经放电和肌电的关系：吸气时肋间外肌的放电增加，呼气时放电减少，正好和膈神经的群集型放电同步。通过监听器也可以听到与呼吸运动相一致的放电声。

描记一段自然呼吸状态下的膈神经放电和肋间肌肌电图（图8-4-1）。

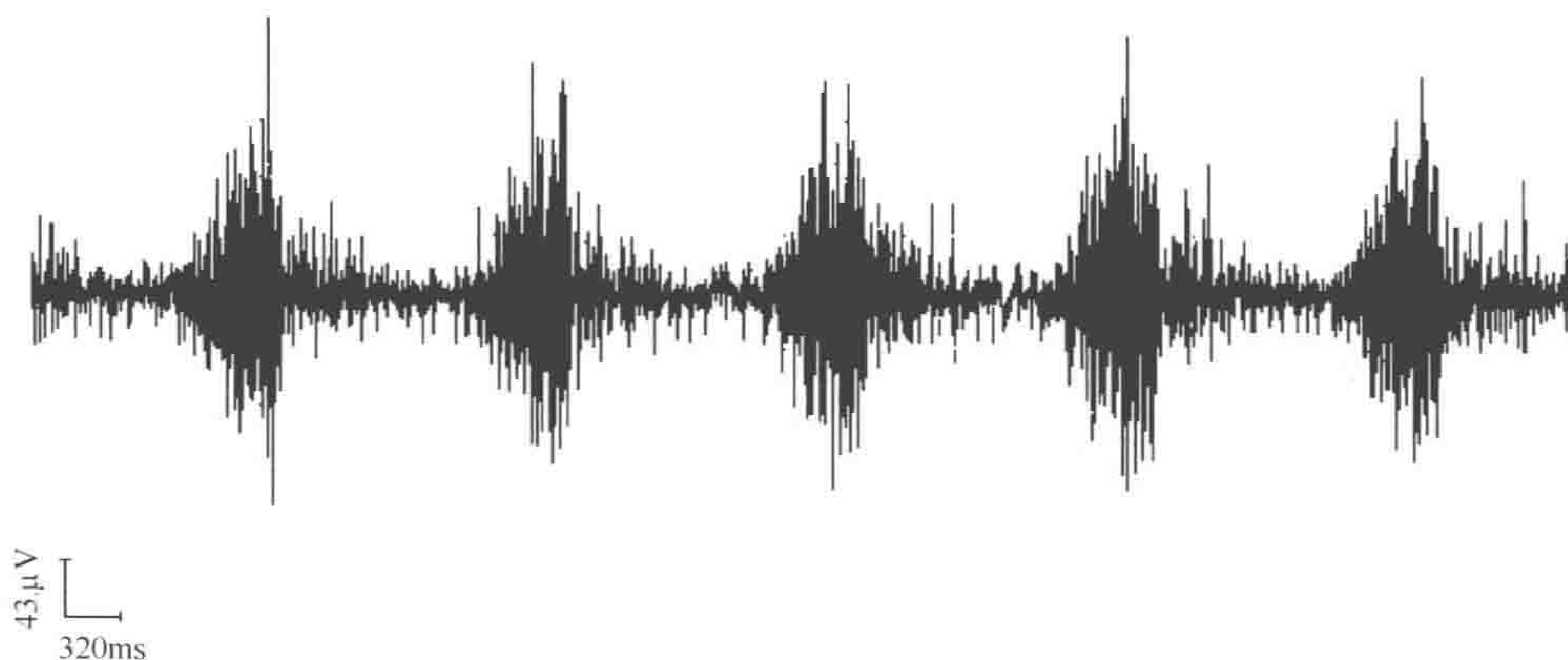


图8-4-1　膈神经放电记录

（4）切断一侧迷走神经，描记一段膈神经放电和肋间肌肌电图；再切断另一侧迷走神经，再描记一段膈神经放电和肌电图。

【注意事项】

1. 记录电极除尖端外，其余部分应做绝缘处理，仪器和动物都要接地。

2. 每项实验做完后，待膈神经放电和呼吸运动恢复正常后，再进行下一项实验，要注意前后对照。

【思考题】

1. 分析呼吸中枢对呼吸节律的调控作用。

2. 切断迷走神经前后呼吸频率、深度以及膈神经和呼吸肌的放电有何变化，为什么？

实验 8-5　用力肺活量和用力呼气量的测定

【目的要求】

掌握用力肺活量（forced vital capacity，FVC）和用力呼气量（forced expiratory volume，FEV_T）的测定方法，了解它们在临床上的应用。

【原理】

用力肺活量指最大吸气后，以最快速度用力呼气时所呼出的最大气量。该指标避免了肺活量不限制呼气时间的缺陷，排除气道阻塞病人在延长呼气时测得的肺活量正常的假相，能更客观反映肺的通气功能。用力呼气量是指最大吸气后在一定时间内以最快速度用力呼气时所呼出的气量，一般以它所占用力肺活量的百分数来表示，即 FEV_t/FVC %。其中，第 1s 内呼出的气量称为 1s 用力呼气量（FEV_1），是临床常用指标。正常个体在第 1s 能呼出 FVC 的 75%～85%。如果 FEV_1 变化不大甚至升高，说明有肺纤维化等限制性肺部疾病。FEV_1 降低，说明有哮喘等梗阻性肺疾病。

【材料】

记录型肺量计、记录纸。

【方法与步骤】

1. 准备记录型肺量计。

2. 小组成员约定好信号，让受试者尽可能的深呼吸，并保持 1～2s。当吸气峰刚结束时，测试者改变记录筒的速度为“FAST”（1920mm/min），使得记录纸两个粗竖线间的时间为 1s。

3. 一旦筒的速度改变，让受试者尽可能用力快速地呼气。

4. 当记录曲线趋于平台时，停止记录，测定受试者的 FVC。用吸气峰值减去呼气波谷值，记录 FVC=________ mL。

5. 计算 FEV_1。从呼气的起点开始，画一条垂直线，标为直线 1。从直线 1 开始，向左计算 1s 的间隔再画一条垂直线，标为直线 2。用吸气峰值（直线 1 上）减去直线 2 所指的呼气量的值，即为第 1s 时呼出的气量。第 1s 的呼气量：________ mL。

6. 用下列公式计算 FEV_1，FEV_1 =第 1s 的呼气量/FVC × 100%

FEV_1 =________%FVC。

7. 解释 FVC 和 FEV_1 的不同之处。

【注意事项】

1. 实验前应认真阅读并熟练掌握肺量计的使用方法。

2. 每次实验时，应在人体恢复正常的呼吸后，再进行下一个指标的测定。

【思考题】

思考用力肺活量、用力呼气量和肺活量等指标之间的关系以及优缺点。

实验 8-6　呼吸对血液酸碱平衡的作用

【目的要求】

了解碳酸-碳酸氢盐缓冲系统在维持血液 pH 的重要性。

【原理】

从组织扩散入血的 CO_2 首先溶解于血浆，一小部分溶解的 CO_2 慢慢地与水结合生成 H_2CO_3，H_2CO_3 又解离成 HCO_3^- 和 H^+，H^+ 被血浆缓冲系统缓冲，PH 无明显变化。溶解的 CO_2 与血浆蛋白的游离氨基反应，生成氨基甲酰血浆蛋白，但形成的量极少，而且动静脉血中的含量接近，表明它对 CO_2 的运输所起作用不大。公式：$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$。

【材料】

pH 计（标准缓冲液 pH=7），缓冲溶液（pH=7），浓盐酸和浓 NaOH（装在有胶头滴管的试剂瓶中），0.01mol/L HCl，250、100、50mL 规格烧杯若干，0.05mol/L NaCl，酚红，吸管，装有蒸馏水的塑料洗瓶，动物血浆。

【方法与步骤】

1. 呼出气体中的 CO_2 和 H_2O 之间的反应

(1) 在烧杯中装入 100mL 蒸馏水。

(2) 加入 5mL 0.05mol/L NaCl 溶液，滴入 5 滴酚红。酚红是 pH 指示计，在酸性溶液中变黄。

(3) 用吸管向溶液中吹气，观察发生的现象。

(4) 将使用过的吸管放入一次性垃圾袋中。

2. 观察标准缓冲液的作用

(1) 观察缓冲系统稳定溶液 pH 的能力。准备 5 个 250mL 烧杯和装有蒸馏水的洗瓶。按照下面的方案设计实验。

烧杯 1（150mL 蒸馏水），pH：________

烧杯 2（150mL 蒸馏水和 1 滴浓 HCl），pH：________

烧杯 3（150mL 蒸馏水和 1 滴浓 NaOH），pH：________

烧杯 4（150mL 标准缓冲液和 1 滴浓 HCl），pH：________

烧杯 5（150mL 标准缓冲液和 1 滴浓 NaOH），pH：________

(2) 用经 pH=7 的标准缓冲液校正过的 pH 计测量以上 5 个烧杯中的 pH。在每次测量记录后，应该将 pH 计的开关打到“备用”档（standby），电极应该用蒸馏水冲洗。

(3) 加 3 滴以上浓 HCl 至烧杯 4 中，再次测量和记录它的 pH：________

(4) 加 3 滴以上浓 NaOH 至烧杯 5 中，再次测量和记录它的 pH：________

3. 碳酸-碳酸氢盐缓冲系统的作用

为了观察血液中碳酸-碳酸氢盐缓冲系统对 pH 变化的缓冲能力，进行下面的实验。

(1) 准备两个小烧杯（50mL)、动物血浆、量筒、玻璃棒和 0.01mol/L HCl。用经 pH=7 的标准缓冲液校正过的 pH 计测量动物血浆的 pH。血浆的量应该可以让 pH 计电极浸没，并能用量筒量出体积。

血浆的 pH：________

(2) 加 2 滴 0.01mol/L HCl 溶液至血浆中，搅均匀后再次测量血浆的 pH。

加入 2 滴 HCl 后，血浆的 pH：________

(3) 将 pH 计打在“备用”档（standby)，冲洗电极。然后将电极浸没在 pH=7 的蒸馏水中，蒸馏水的体积与血浆的体积相等。

蒸馏水的 pH：________

(4) 向蒸馏水中加入 2 滴 0.01mol/L HCl 溶液，搅匀后再次测量蒸馏水的 pH。

加入 2 滴 HCl 后，蒸馏水的 pH：________

【注意事项】

使用 pH 计测量后，不要忘记用蒸馏水冲洗电极。

【思考题】

1. 在人体中，除了血液中有缓冲系统外，还有哪些系统有类似的缓冲功能?

2. 了解 CO_2 在血液中的运输过程。

第九章　代　　谢

实验 9-1　甲状腺素对代谢率的影响

【目的要求】

1. 了解测定代谢率在生理学和临床上的重要性。

2. 研究甲状腺机能减退、甲状腺机能亢进和甲状腺机能正常对耗氧量和代谢率的影响。

3. 学会连接和使用必要的仪器设备，能正确地使用气压计记录实验结果。

4. 学习用 mL O_2/(kg・hr) 来计算代谢率。

【原理】

代谢涉及维持生命的所有化学反应，包括由酶参与的分解代谢和合成代谢。甲状腺素是影响细胞代谢率和机体产热的重要激素之一。若机体内甲状腺素过量，个体的基础代谢率、产热和氧消耗都会增加，个体倾向于消瘦、不耐热和易激怒。若甲状腺机能低下，个体会变得行动迟缓、肥胖、不耐冷。在本实验的三组大鼠中，对照组动物甲状腺机能正常，它们有相对正常的代谢率。试验组 A 的动物喝了含化合物丙硫氧嘧碇（6-n-propylthiouracil，PTU）的水，PTU 能抑制甲状腺过氧化物酶，具有拮抗体内甲状腺激素功能的作用。试验组 B 的动物吃了含甲状腺干粉（含有甲状腺激素）的鼠粮。实验将测量和对比三组实验动物的耗氧率（通过直接测定代谢率的方法），研究甲状腺激素机能在亢进、低下和正常时对身体代谢的影响。

【动物与器械】

玻璃干燥器、气压测定计、20mL 玻璃注射器、两孔的橡胶塞和三通管、含钠石灰（氢氧化钙与氢氧化钠的混合物、白色粉状物质、极易吸收水分和二氧化碳，变为碳酸钠和碳酸钙的混合物、通常用作干燥剂和二氧化碳的吸收剂）的干燥器；

方孔金属网、凡士林、橡胶管、橡胶管夹、剪刀、7.6cm 的玻璃管若干、称动物的天平、厚的抓动物用的手套。

实验之前，准备出生 2 周的大鼠，按下列方式喂养 14 天：

组 1：对照组——喂正常的鼠粮和正常水；

组 2：试验组 A——喂正常的鼠粮和含 0.02%PTU 的水；

组 3：试验组 B——喂含 2%甲状腺干粉的鼠粮和正常水。

【方法与步骤】

1. 准备呼吸-气压测定设备

(1) 耗氧量用简单的呼吸-气压计测定。每个动物放在有钠石灰的密闭室中，钠石灰会吸收动物呼出的 CO_2；因此，测试期间，所观察到的压强改变表示动物消耗氧气的体积。每组学生先装配仪器，测量动物的最初体重，记录数据。

(2) 本实验中密闭室用玻璃干燥器制作，振动钠石灰，使它平铺在干燥器的玻璃底

部。然后，将方孔金属网放在位于钠石灰上方的干燥器壁架上。注意固定金属网，使动物不能接触到钠石灰。

（3）在两段玻璃管的末端涂上凡士林，转动插入到橡皮塞的孔中，注意玻璃管要穿过橡皮塞。将橡皮塞塞入干燥器的盖子上，暂时盖上盖子。

（4）剪两段长度分别为 7.6cm 和 30～35cm 的橡胶管，套入两段玻璃管上。将三通管的一端插入较长的橡胶管远端。

（5）剪一小段橡胶管；一端接三通管，一端接玻璃注射器。抽出注射器活塞，在它的边缘涂上凡士林。将活塞插回注射器管中，上下抽动活塞，使凡士林均匀的分散在注射器管壁上，然后将活塞抽至 20mL 刻度。剪一段橡胶管，一端接三通管，一端接气压计（气压计应该注入一定量的水，以便看到 U 型水柱）。打开干燥器的盖子，在盖子边缘涂上凡士林。盖上盖子，从盖子的一端到另一端移动盖子使凡士林均匀分散开来。

（6）测试系统是否漏气：用夹子夹住橡皮塞上端的橡胶管。轻轻向前推进注射器活塞。如果系统是密闭的，气压计中的液体将向外移动。如果有空气泄漏，气压计的液体不会动，或者它移动一下，迅速回到原来的位置。如果有漏气现象，检查所有玻璃和玻璃、玻璃和橡胶管的连接。在可疑的地方涂上凡士林，重新测试。在开始实验前，确保系统是密闭的。

（7）在确定系统不漏气后，取掉夹子，打开盖子。

2. 准备动物

戴上厚手套取动物，轻轻地抓取一只大鼠。在天平上称重，体重精确到接近 0.1g。小心地将动物放在干燥器金属网上。实验目的是测量基础水平上的耗氧量，因此不要刺激大鼠，避免测量时产生误差。记录动物的组别和体重，体重换算成 kg 单位。

3. 干燥器小室的温度平衡

动物放入干燥器小室后，盖上干燥器的盖子，要轻轻地从一端到另一端将它盖紧。

让短橡皮管开放持续 7～10min，直到干燥器的小室中温度达到平衡为止（因为动物体热可使小室的温度上升，空气膨胀。在测量耗氧量之前，必须这样做）。

4. 测定动物的耗氧量

（1）待小室温度平衡后，重新夹上夹子。

（2）检查气压计，确保两臂中的液面相平（如果不相平，操作注射器活塞使两液面相平）。记录此时的时间和活塞的位置。

（3）每隔 1min 观察一次气压计的液面。每次必须小心地用注射器调整气压计液面（使液面相平）。通过计算注射器中空气的变化，确定每分钟氧气的使用量。例如，如果 1min 后将活塞从 20mL 推至 17mL，那么耗氧量为 3mL/min。同样的，如果 2min 后活塞的位置从 17mL 变到 15mL，那么在第 2min 里耗氧量为 2mL/min。

（4）记录 10min，或待注射器活塞快接近 0 刻度为止。然后取掉夹子，打开盖子，让玻璃干燥器小室在空气中敞开 2～3min。

（5）重复以上步骤，测定第 2 个 10min 的耗氧量。在第二次记录时，确保实验前系统温度达到平衡。

（6）记录（表 9-1-1）完毕后，取掉夹子，打开盖子，将动物放回鼠笼中。

（7）依次完成所有动物的测定。

表 9-1-1 代谢率记录表

动物的组别：________

动物：________

体重＝________ g＝________ kg

试验 1：耗氧量/min		试验 2：耗氧量/min	
最初注射器读数________ mL		最初注射器读数________ mL	
1min ________	6 min ________	1min ________	6 min ________
2 min ________	7 min ________	2 min ________	7 min ________
3 min ________	8 min ________	3 min ________	8 min ________
4 min ________	9 min ________	4 min ________	9 min ________
5 min ________	10 min ________	5 min ________	10 min ________
________总耗氧量/10min（mL O_2/10min）		________总耗氧量/10min（mL O_2/10min）	

每 10min 的平均耗氧量：________ mL O_2/10min

每小时的耗氧量：________ mL O_2/h

代谢率：________ mL O_2/（kg·h）

对照动物的代谢速率：________ mL O_2/（kg·h）

试验动物组 A（PTU 处理）的代谢速率：________ mL O_2/（kg·h）

试验动物组 B（甲状腺粉末处理）的代谢速率：________ mL O_2/（kg·h）

注意代谢率通常以 kcal/（m^2·h）或 kJ/（m^2·h）来表示，这样需要换算现有的数据

【注意事项】

1. 室温升高能增加动物对缺氧的敏感性，故实验室温度应保持在 23℃左右为宜。
2. 据报道，本实验选用雄性动物结果较稳定。

【思考题】

1. 影响代谢率的因素有哪些？
2. 甲状腺素对机体的代谢有哪些影响？

第十章　尿生成及调节

泌尿系统由肾、输尿管、膀胱及尿道 4 部分组成。它的主要功能是生成及排出尿液。机体内溶于水的代谢产物如尿素、尿酸，它们和多余的水分以及被破坏的激素、毒素和药物等物质，经循环系统运送至肾，在肾内形成尿液，再经输尿管道排出体外。泌尿系统是人体代谢产物最主要的排泄途径之一，排出的废物不仅量大、种类多，而且尿的质和量经常随着机体内环境的变化而发生改变。肾不仅是排泄器官，而且对调节机体内环境的稳定和电解质平衡也起重要作用。如果肾功能障碍，代谢产物则蓄积于体液中，破坏内环境的相对恒定，从而引起新陈代谢紊乱，严重时危及生命。

1. 肾。是实质性器官，位于腹后壁，脊柱两旁。左右各一，形似蚕豆。在肾的额状切面上，可见肾分为外周呈褐色的肾皮质及中央色较淡的肾髓质。肾皮质富有血管，呈红褐色，其外观密布的细小颗粒相当于肾小体。肾髓质由许多小管道组成，色淡。在肾窦内约有 7～8 个呈漏斗状的肾小盏，2～3 个肾小盏合成一个肾大盏。肾大盏约 2～3 个，再集合成一个前后扁平、漏斗状的肾盂。肾盂出肾门后，向下行，逐渐变细移行为输尿管。

2. 输尿管、膀胱、尿道。输尿管是细长的肌性管道，长约 20～30cm，上端与肾盂相连，在腹后壁沿脊柱两侧下行，进入小骨盆，下端在膀胱底的外上方斜行插入膀胱壁，开口于膀胱。输尿管壁由三层组织组成，由内向外为黏膜、平滑肌层和外膜。输尿管平滑肌能进行缓慢地收缩和舒张，使尿液向膀胱方向推进。

膀胱为锥体形囊状肌性器官，位于小骨盆腔的前部。膀胱壁由三层组织组成，由内向外为黏膜、肌层和外膜。肌层由平滑肌纤维构成，称为逼尿肌。逼尿肌收缩，可使膀胱内压升高，压迫尿液由尿道排出。在膀胱与尿道交界处有较厚的环形肌，形成尿道内括约肌。括约肌收缩能关闭尿道内口，防止尿液自膀胱漏出。

尿道是从膀胱通向体外的管道。男性尿道细长，行程中通过前列腺部、膜部和阴茎海绵体部，男性尿道兼有排尿和排精功能。女性尿道粗而短，起于尿道内口，经阴道前方，开口于阴道前庭。

实验 10-1　尿样分析

【目的要求】

1. 列出尿的物理性质，并指出其正常的 pH 和密度范围。
2. 列出正常尿液的组分。
3. 做尿样的各种分析，了解一份尿样的物质组成。
4. 了解下列尿的情形：

   蛋白尿 结石 糖尿 血尿 血红蛋白尿 酮尿 脓尿。
5. 解释以上尿产生的原因。

【原理】

1. 硫酸盐测定：硫酸根与钡离子生成白色的硫酸钡沉淀。

2. 磷酸盐测定：磷酸盐与酸性钼酸铵作用，生成淡黄色的磷钼酸盐沉淀。

3. 氯化物测定：氯离子与银离子作用，生成白色氯化银沉淀。

4. 使用不同的试纸时注意阅读说明书中各种反应的基本原理。

【材料】

1. “正常”人造尿、编号的“病理”尿、尿比重计、电炉、500mL烧杯、pH试纸。

2. 各种检测试纸。

3. 试剂。

测试硫酸盐的试剂：10%氯化钡溶液，稀盐酸；

测试磷酸盐的试剂：稀硝酸，稀钼酸铵；

测试尿素的试剂：浓硝酸；

测试Cl^-的试剂：3.0%硝酸银溶液（新配制）。

4. 试管、试管架和试管夹，10mL的量筒，玻璃棒，医用滴管，蜡制记号笔，载玻片。

5. 复合式显微镜。

6. 离心机和离心管。

7. 染料、漂白粉、一次性手套、一次性垃圾袋。

【方法与步骤】

1. 测定尿的物理性质

(1) 观察“正常”尿样和“病理”尿样的颜色、透明度和气味，将结果记录在表中。

(2) 用pH试纸测定每个样本的pH。每次测试都使用新的试纸，将试纸蘸一下尿样，当试纸颜色稳定后，读出pH。

(3) 为了确定密度，使用尿密度计量筒和浮标。将尿液混匀后装到尿比重计量筒的2/3处。

(4) 检查尿比重计的浮标，确定读数。在读数之前，确保浮标可以自由移动。在表10-1-1中，记录两个样本的结果。

表 10-1-1　尿样物理性质分析结果

观察或测试	正常值	标准尿样	未知尿样
颜色	淡黄色	黄色：淡 中间 深 其他：＿＿＿＿＿＿	黄色：淡 中间 深 其他：＿＿＿＿＿＿
透明度	透明	澄清 稍微混浊 混浊	澄清 稍微混浊 混浊
气味	独特		
pH	4.5～8.0		
比重	1.001～1.030		

2. 测定尿的无机组分

(1) 硫酸盐。在试管中加入 5mL 尿液，然后加入一小滴稀盐酸和 2mL 10%氯化钡溶液。出现白色沉淀说明样本中存在硫酸盐。清洗试管。记录结果。

(2) 磷酸盐。取电炉和 500mL 烧杯。准备沸水水浴，在烧杯中装入一半自来水，放在电炉上加热。向试管中加入 5mL 尿液，然后加入 3～4 滴稀硝酸溶液和 3mL 稀钼酸铵。用玻璃棒搅均，然后在沸水水浴中加热。形成黄色沉淀说明样本中存在磷酸盐。记录结果。

(3) 氯化物。向试管中加入 5mL 尿液，然后加入若干滴硝酸银溶液。出现白色沉淀（氯化银）是氯化物的阳性反应。记录结果。

(4) 亚硝酸盐。用联合试纸检验亚硝酸盐的存在。记录结果（表 10-1-2）。

表 10-1-2 尿样无机组分检测结果

观察或测试	正常值	标准尿样	未知尿样
硫酸盐	存在	存在　不存在	存在　不存在
磷酸盐	存在	存在　不存在	存在　不存在
氯化物	存在	存在　不存在	存在　不存在
亚硝酸盐	不存在	存在　不存在	存在　不存在

3. 测定尿的有机组分

可利用单一或联合试纸来测试尿的有机成分。如果使用联合试纸，可以同时获得许多因子的读数（pH、蛋白、葡萄糖、酮体和亚硝酸盐等）。总的来说，所有的测试结果在试纸浸润 2min 之内读出，2min 之后结果无效。注意浸润的方法和时间（表 10-1-3）。

表 10-1-3 尿液有机组分检测结果

观察或测试	正常值	标准尿样	未知尿样
尿素	存在	存在　不存在	存在　不存在
葡萄糖			
试纸：	阴性	记录结果：______	记录结果：______
尿中还原物	阴性	记录结果：______	记录结果：______
白蛋白			
试纸：	阴性	记录结果：______	记录结果：______
酮体			
试纸：	阴性	记录结果：______	记录结果：______
红细胞/血红素			
试纸：	阴性	记录结果：______	记录结果：______

续表

观察或测试	正常值	标准尿样	未知尿样
胆红素 试纸：	阴性	记录结果： ________	记录结果： ________
尿胆素盐	存在	存在　不存在	存在　不存在
白细胞	不存在	存在　不存在	存在　不存在

（1）尿素。加2滴尿液滴在干净的载玻片上，小心地加1滴浓硝酸在尿滴上。在电炉上慢慢使混合物变热，直到液滴边缘开始干涸，但是不要让它煮沸或蒸发。待载玻片冷却，在低倍镜下观察液滴的边缘，辨别由尿素和硝酸发生化学反应形成的硝酸脲的菱形或六角形晶体。将光线的亮度调低，达到最好的对比度。

（2）葡萄糖。用联合试纸或单一的尿糖试纸，按照说明进行测试。

（3）白蛋白。用联合试纸或单一的尿白蛋白试纸，按照说明进行测试。

（4）酮体。用联合试纸或单一的尿酮试纸，按照说明进行测试。

（5）血液/血红素。按照说明，用联合试纸进行测试。

（6）胆红素。用联合试纸检验样本中是否有胆红素。

（7）尿胆素盐。用联合试纸测试尿胆素盐。

（8）白细胞。用联合试纸测试白细胞。

【注意事项】

1. 用试纸测试后读取结果时，应选择合适的光源，并让试带条靠近比色卡，尽量避免人为读取误差。

2. 要避免使用手指接触过的部分来测试，手指上的污染可能影响测试结果。

3. 在整个实验中，必须戴上一次性手套。当完成实验后，按照以下步骤整理实验室：①将使用过的手套、pH试纸和试纸放在一次性垃圾袋中；②将用过的玻璃器皿放在漂白粉中浸泡；③用漂白粉溶液清洗实验台。

【思考题】

1. 正常尿液的组分有哪些？蛋白尿、结石、糖尿、血尿、血红蛋白尿、酮尿、脓尿与正常尿液相比有哪些异常？

2. 解释以上尿产生的原因。

实验10-2　家兔尿生成的神经体液调节

【目的要求】

1. 学习用输尿管插管法记录尿量的方法。

2. 观察几种因素对尿生成的影响。

【原理】

尿生成的过程包括：肾小管的滤过作用、肾小管与集合管的重吸收作用以及肾小管与集合管的分泌作用。凡是影响这些过程的因素，都会因影响尿的生成而引起尿量变化。本实验同步描记兔的血压与尿滴，观察神经体液因素对尿生成的影响，并分析尿量

与血压之间的关系。

【动物与器械】

家兔；手术台、常用手术器械、止血钳、剪毛剪、保护电极、计算机采集系统、YP100压力换能器、动脉插管、动脉夹、细导尿管插管、尿滴受滴器、量筒、注射器（1mL、5mL、20mL）、10%葡萄糖、肝素（300U/mL）、肾上腺素（1∶10 000）、抗利尿激素、温热生理盐水（38℃）、25%氨基甲酸乙酯、纱布、棉球、棉线。

【方法与步骤】

1. 实验装置及参数设置

（1）仪器连接

颈总动脉插管→压力换能器→生理信号采集处理系统通道1。

尿道插管→尿滴受滴器→生理信号采集处理系统通道2。

（2）参数设置

采样频率：800Hz，扫描速度：4s/div，灵敏度：12kPa/div，时间常数，直流，滤波：100Hz。

刺激参数：正电压刺激，连续单刺激，强度：2～8V，波宽：1ms，延时：0ms，频率：10～20Hz。

2. 动物手术

（1）取家兔，将动物麻醉、固定，进行颈部手术，分离迷走神经、穿线备用，进行颈总动脉插管术，并接通YP100压力换能器，通过生理信号采集处理系统记录血压。

（2）在耻骨联合上缘，沿正中线作一长约5cm的切口，沿腹白线切开腹腔，将膀胱移出体外，暴露膀胱三角，仔细找出两侧输尿管，并将其与周围组织轻轻分离。用线将输尿管近膀胱端结扎，在结扎之上部剪一斜口，把充满生理盐水的细塑料管向肾脏方向插入输尿管内，用线结扎固定，进行导尿，可看到尿液从细塑料管中慢慢地逐滴流出（图10-2-1）（注意塑料管要插入输尿管管腔内，不要插入肌壁层与黏膜之间，插入方向应与输尿管方向一致，勿使输尿管扭结，以免妨碍尿液流出）。手术完毕后，用浸过温热（38℃左右）生理盐水的纱布将腹部切口处盖住，以保持腹腔的温度。



图10-2-1　兔输尿管插管导尿示意图



图10-2-2　记滴装置

（3）安装好受滴装置（图10-2-2），接通计算机输入通道并记录正常尿滴（滴/min）

或换算成毫升数。

（4）调节血压通道与记录尿滴通道的扫描速度一致，同时记录正常血压与尿量。

（5）实验观察

1）记录较稳定的血压与尿量后，由耳缘静脉注射温热生理盐水 30mL（速度稍快些），记录指标变化。

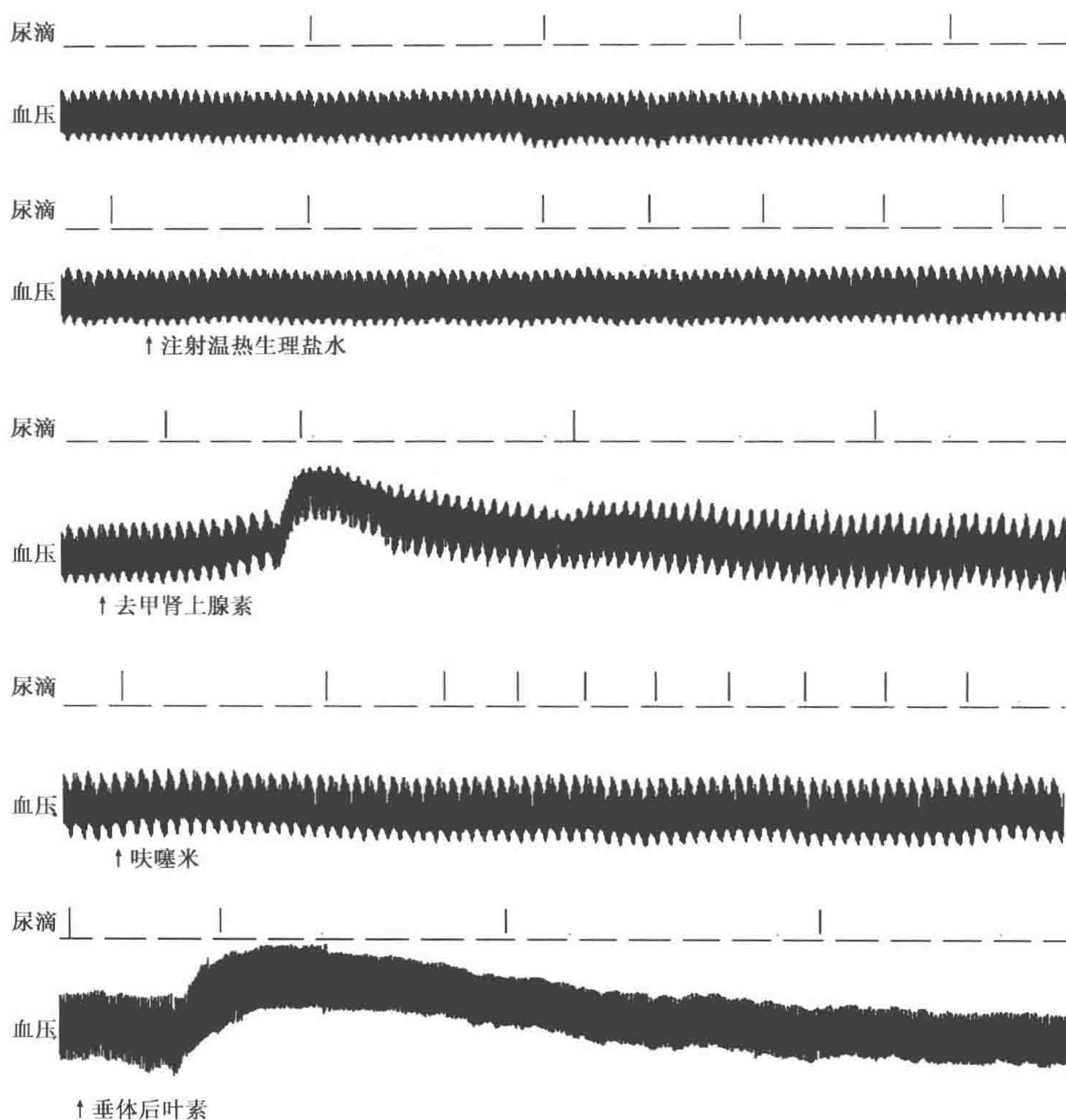
2）待血压、尿量平稳后，同上法注射肾上腺素溶液 0.2～0.5mL，记录指标变化。

3）待血压、尿量平稳后，同法注射速尿（furosemide 呋塞米）5mg/（kg 体重），记录指标变化。

4）待血压、尿量平稳后，同法注射抗利尿激素（垂体后叶素）2U，记录指标变化。

5）待血压、尿量平稳后，同法注射 20％的葡萄糖 5mL，记录指标变化。

6）待血压、尿量平稳后，刺激颈部迷走神经，记录指标变化（图 10-2-3）。



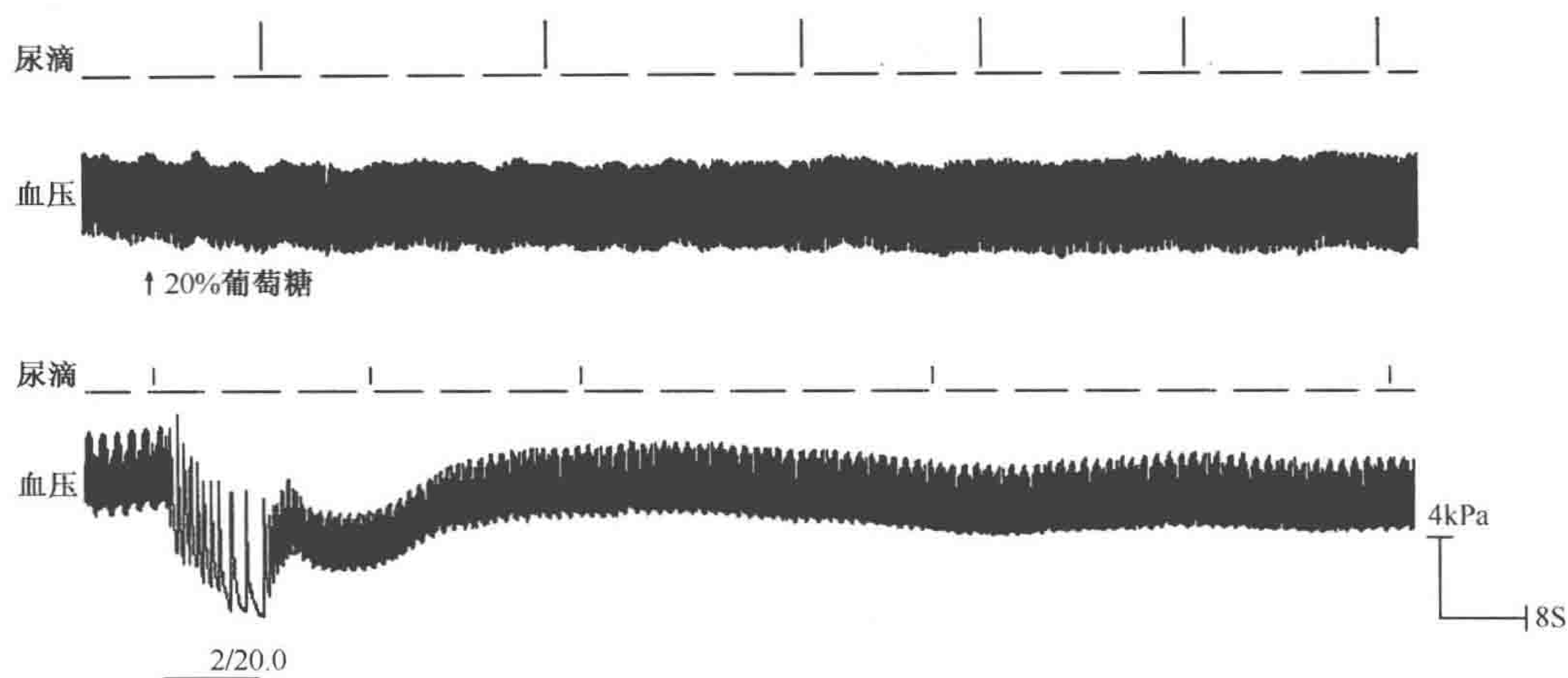


图 10-2-3　各种因素对血压和尿量的影响

从上到下依次为：正常血压和尿量图、温热生理盐水对尿生成的影响、去甲肾上腺素对尿生成的影响、呋噻米（速尿）对尿生成的影响、垂体后叶素对尿生成的影响、20％葡萄糖溶液对尿生成的影响、刺激迷走神经对尿生成的影响。坐标尺统一为最右下角

【注意事项】

1. 下腹部切口不宜太长，以防内脏暴露，并注意保温。

2. 插管时动作要轻柔。插管前，塑料管内应预先充满含有肝素的生理盐水，可防止或减少导管内凝血。导管内如发生血凝块堵塞时，可用铜丝通一下，必要时重新插管。

【思考题】

1. 静脉注入垂体后叶素后，尿量有何改变？机理如何？

2. 静脉注入 50％葡萄糖溶液 3mL，尿量有何变化？为什么？

3. 静脉注射大量生理盐水使尿液增多的机理是什么？

第十一章　中枢神经系统

神经系统由中枢神经系统和周围神经系统两部分组成。中枢神经系统包括脑和脊髓，它们分别位于颅腔和椎管内。周围神经系统包括脑和脊髓相连的脑神经、脊神经和自主神经。它们各自都含有感觉和运动两种成分。由脑发出的称为脑神经；由脊髓发出的称为脊神经。自主神经是指分布于内脏平滑肌、心肌和腺体的神经，又称为内脏神经，而支配体表、骨、关节和骨骼肌的神经则称为躯体神经。

人体的结构与功能极为复杂，系统与器官行使各自的功能也不是彼此孤立的。当感受器接受到内外环境变化的刺激时，机体能够通过神经系统的活动，协调和统一各系统、器官的运作，迅速地作出适应性的功能调节，维持正常的生命活动。因此，神经系统在人体生理功能的调节中起着主导作用。

在中枢神经系统和周围神经系统中，因神经元的胞体和轴突因所在部位和编排方式的不同而形成了不同的结构区域。在中枢神经系统中，神经元胞体集中处色泽灰暗，称灰质，而被覆于大、小脑表面的灰质又称为皮质。功能相同神经元胞体集中形成的团块称为神经核。神经纤维（轴突）集中处色泽亮白，称为白质，而位于大、小脑表面的白质又称为髓质。功能相同的神经纤维集合成束称为纤维束（传导束）。而在周围神经系统，神经元胞体集中形成神经节，神经纤维集中则形成神经。

实验 11-1　人脑电图（EEG）记录

【目的要求】

1. 通过实验记录脑电图，解释 EEG 产生的原理。
2. 描述 EPSP 和 IPSP，解释它们的意义。

【原理】

神经元与神经元之间通过突触进行联结，完成信息的传递。根据传递媒介的不同，突触可以分为化学性突触和电突触两类。在经典的化学突触传递中，动作电位传播到突触前神经元的轴突，刺激化学递质囊泡的释放。神经递质（如乙酰胆碱）扩散到突触间隙，并作用于突触后膜上的特异性受体或门控通道，导致突触后膜一定程度的去极化或超极化，称为突触后电位。一般兴奋性神经递质引起突触后神经元的去极化，产生兴奋性突触后电位（EPSP）；抑制性神经递质引起突触后神经元超极化，产生抑制性突触后电位（IPSP）。突触后神经元动作电位的产生及频率是由与之形成突触和各神经元所产生的 EPSP 和 IPSP 的代数总量来决定。

在高等哺乳动物中，大脑皮层是中枢神经系统中最大的结构，形成高级神经活动基础的最重要的分析和综合过程均在皮层中进行。大脑皮层神经细胞，能发出某些电信号，一般把在头皮表面记录到的自发脑电活动称为脑电图（EEG）。皮层表面的电位变化是由大量神经元同步发生的突触后电位总和后形成的。

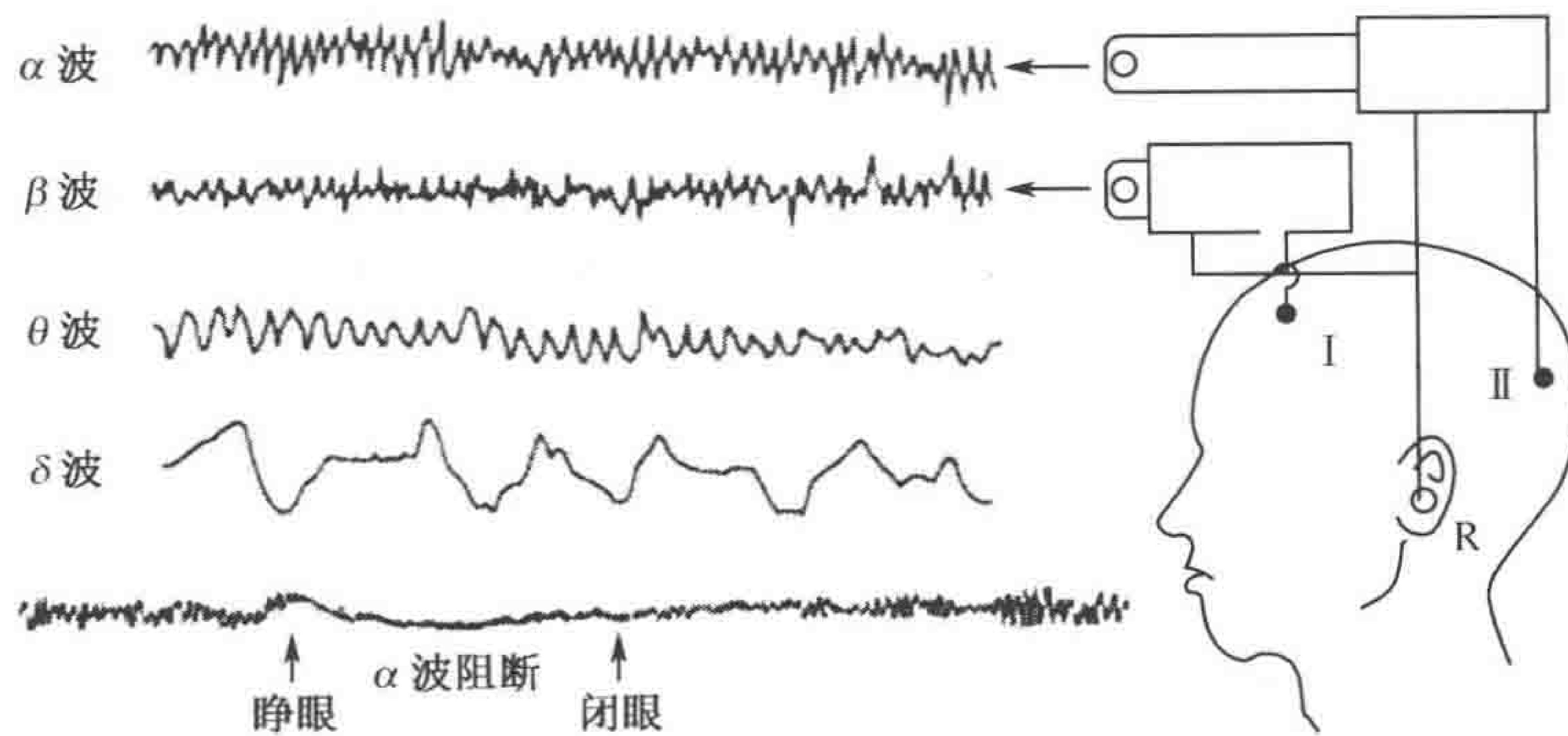


图 11-1-1　脑电图记录法与脑电波形图
引导电极放置位置（Ⅰ额叶、Ⅱ枕叶）
接地电极安放位置（R 耳郭）

在临床应用中，19 对电极被放在头皮不同的标准位点，每一对电极与不同的记录笔相连。记录的结果是由同步性神经行为的周期性增强或减弱所产生的复杂波形，这些波形根据脑的区域和状态显示不同的特征，按其频率可分为 α、β、θ、δ 等波形（图 11-1-1）。

表 11-1-1　正常脑电图 4 类常见波形的划分

脑电波	频率/Hz	幅值/μV	产生区域	出现的条件
α	8～12	20～100	顶叶、枕叶	成人安静放松、闭眼且清醒时
β	13～25	5～20	额叶	成人活动时
θ	5～8	100～150	颞叶、枕叶	新生正常脑电，或成人有情感压力时
δ	1～5	20～200	大脑皮层	婴儿醒来时，或成人深睡时

【材料】

计算机采集系统、EEG 表面电极、EEG 弹性带和电解质凝胶。

【方法与步骤】

1. 把一根长的有弹性的 EEG 皮带系到前额，形成头带状。轻敷一点电解质凝胶到 EEG 电极上，将电极放置到前额右边和左边的头带下。

2. 轻敷一点电解质凝胶到接地电极上，用手指把这根电极压在耳后皮肤上。

3. 打开电脑，将电极连接到计算机采集系统，选择脑电实验模块。

4. 使测试对象处于放松状态（无肌肉运动），闭上双眼，观察其 EEG 形式。

5. 观察睁开眼、心算、剧烈呼吸运动对 EEG 的影响。

【注意事项】

1. 保证与受试者接触的电极表面涂有电解质，以免绝缘，影响实验记录。

2. 受试者应取下佩带的金属器件和电子产品，测试时保持放松状态，实验环境应保持安静，减少外界影响。

【思考题】

1. 描述 EPSP 及 IPSP 产生的位点，并解释产生的原理。比较 EPSP 和动作电位性质的差异。

2. 动作电位或突触电位，哪种类型的活动产生EEG？为何EEG可能受强力呼吸的影响？

实验11-2 反 射 弧

【目的要求】

1. 描述参与一个简单反射弧的神经通路。

2. 描述肌梭的结构和功能。

3. 演示肌肉牵张反射并解释其临床意义。

4. 演示足趾反射并解释巴宾斯基征的临床意义。

【原理】

神经系统功能活动的基本形式是反射，反射的结构基础是反射弧。构成反射弧的各级神经元之间通过突触传递信息，环境刺激产生运动反应的速度部分取决于传入神经和传出神经之间的突触数量。反射是一种相对简单的运动反应，不需要大量相关神经元的参与。

反射的基本过程是：传入神经将感受器接受的刺激信号传递至中枢系统，再由传出神经将中枢分析处理后的指令传给效应器，产生效应。最简单的反射仅仅需要感觉神经元和运动神经元之间的一个突触（如屈膝反射）。在更复杂的反射中，感觉冲动可能纵向和横向穿过灰质，刺激其他的运动神经元。这可能导致身体同侧的其他屈肌的收缩和身体对侧伸肌的收缩，同时抑制了拮抗肌的收缩（身体同侧的伸肌和身体对侧的屈肌）。

因为一个特异的简单反射存在于脊髓的一个特定的节段，所以测试简单的反射弧可助于诊断神经联系是否紊乱（图11-2-1）。

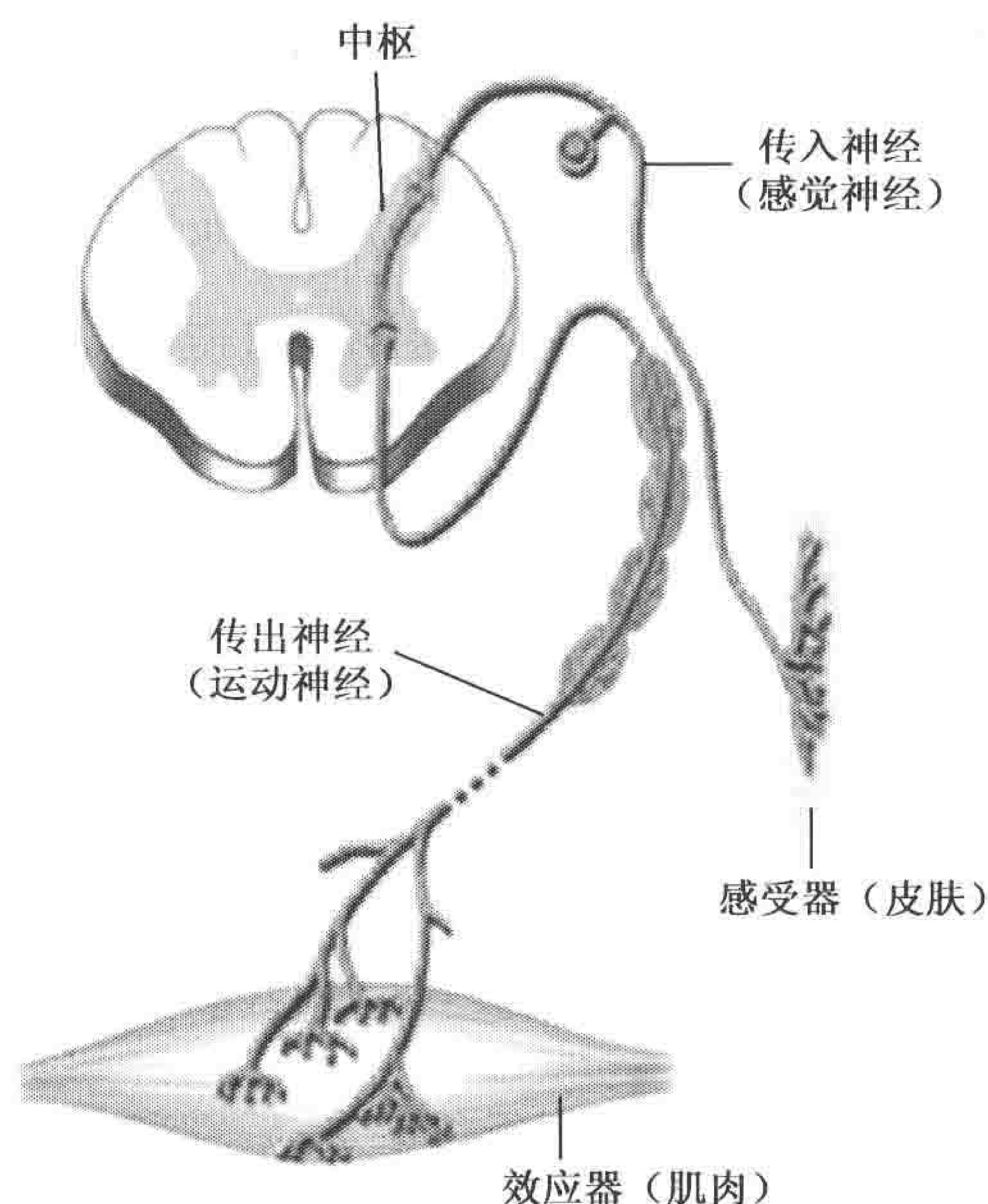


图11-2-1 反射弧模式图

【材料】

橡皮锤、钝针。

【方法与步骤】

1. 牵张反射

牵张反射的反射弧是由肌肉内不同的牵张感受器引起的，这类感受器叫做肌梭。它们埋藏在相互连接的肌肉组织中，由特异性细长的肌纤维（梭内肌纤维）组成。梭内肌纤维和正常肌细胞（梭外肌纤维）平行排列，肌肉的伸展对梭内肌纤维有拉力。梭内肌纤维能对由刺激引起的拉力产生反应。来自于梭内肌纤维的感觉神经元和脊髓内的运动神经元形成突触，后者支配梭外肌纤维。紧接着梭外肌纤维的收缩释放梭内肌纤维的拉力，减弱对牵张感受器的刺激，导致肢体短暂、快速的移动。这在屈膝反射中非常明

显，但在肱二头肌和肱三头肌反射中相当微弱。

(1) 膝反射的步骤——测试股神经

1) 受试者坐在椅子上，大腿自然放置。

2) 用橡皮锤敲打膝盖骨以下的膝盖骨肌腱的韧带，并观察四头肌的收缩和小腿的伸展。

(2) 踝反射的步骤——测试胫神经

1) 使受试者跪在椅子上，背向测试人，足部伸在椅子边缘之外。

2) 用橡皮锤敲打脚踝的跟腱，观察脚底部的伸展。

(3) 肱二头肌反射——测试肌皮神经

1) 使受试者手臂放松，在桌子上完全伸展。

2) 用拇指或食指轻微压迫肘窝内的肱二头肌肌腱，用锤敲打手指。

3) 如果此步骤完成得正确，肱二头肌将会抽动，但往往不会产生足够强烈的牵张，以至移动手臂。

(4) 肱三头肌反射——测试桡神经

1) 受试者平躺，背部朝下，肘部弯曲。

2) 敲打肘部以上 5cm 处的肱三头肌肌腱。

3) 如果此程序完成得准确，肱三头肌将会抽动，但往往不会产生足够强烈的牵张，以至移动手臂。

2. 皮肤反射：足跖反射和巴宾斯基征

足跖反射由足部皮肤感受器所诱发，是最重要的神经测试之一。在正常人中，适当刺激位于脚底的感受器导致大脚趾弯曲，而其他脚趾聚集在一起。正常的足跖反射需要神经冲动从皮层到运动神经元沿着锥体运动束连续传导。锥体运动束上任何位点的损伤都会产生巴宾斯基反射或巴宾斯基征，出现大脚趾伸展而其他脚趾侧向展开。正常婴儿显示出巴宾斯基征是因为神经支配还没有完全发育。

(1) 使测试对象躺下，背朝下，膝盖轻微弯曲，大腿旋转，以至足的侧部搁在床上。

(2) 用钝针，以一定（但不痛）的压力，沿着脚底边缘侧部刺激，从脚后跟开始，到大脚趾的基部结束，观察脚趾的反应。

【注意事项】

1. 受试者在接受测试时应保持放松，排除主观意识的干扰。

2. 实验敲打的部位要准确，力度适中。

【思考题】

1. 描述从膝盖骨肌腱伸展到大腿伸展的这一过程（膝反射）。

2. 比较参与肌肉牵张反射和足跖反射的神经通路。

3. 假设一个人在颈部水平的脊髓出现了损害，这是否会停止膝反射？它怎样影响足跖反射？

实验 11-3　家兔大脑皮层运动区的刺激效应

【目的要求】

1. 观察电刺激大脑皮质运动区的不同区域所引起的肌肉运动。

2. 了解皮质运动区的功能定位特征。

【原理】

大脑皮质运动区通过锥体系和锥体外系控制脊髓前角运动神经元和脑神经运动神经元的活动，以支配肌肉的运动。皮质运动区对肌肉运动的支配呈有序的排列，且随动物的进化逐渐精细。鼠和兔的大脑皮质运动区机能定位已有一定的雏形，而灵长类动物皮质运动区已具有精细的机能定位。电刺激大脑的某些部位，能引起特定肌肉或肌群的收缩运动。

研究表明，人的大脑皮层中央前回为主要运动区。中央前回的下部支配头面部运动，上肢和躯干运动区在中央前回的中部，下肢运动区在前部。刺激皮层运动区的不同部位，就可以引起它所支配部位肌肉的运动。一侧皮层运动区的兴奋会引起对侧躯体的运动，即呈对侧性支配。头面部的运动为双侧性支配。而且运动部位与皮层神经元间存在着点对点的对应关系，越是精细的运动，其皮层代表区的范围越大。

本实验以方波刺激家兔大脑皮层运动区，掌握运动区机能定位的研究方法，基本了解皮层运动区的刺激效应。但因兔的大脑皮层沟回少，做到精确定位比较困难。对家兔而言，刺激皮层可观察到对侧肢体某些骨骼肌群的运动反应，一般地说，刺激较前方部位，主要引起头面部肌肉运动，如抖动胡须、咀嚼等。刺激后方部位，主要引起前肢、后肢或尾部运动，咀嚼在皮层上占有较多代表区（图 11-3-1）。

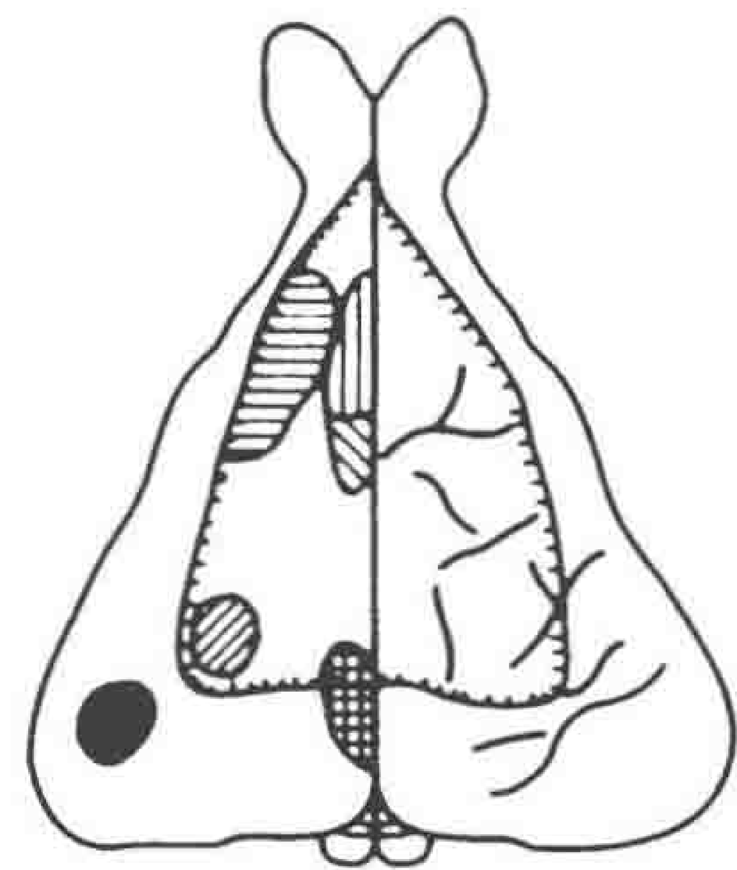


图 11-3-1　家兔大脑皮层的运动区

【动物与器械】

家兔；手术台、常用手术器械、咬骨钳、颅骨钻、止血钳、剪毛剪、计算机采集系统、银丝电极、石蜡油、温热生理盐水、25％氨基甲酸乙酯、纱布、棉球。

【方法与步骤】

1. 动物的麻醉与固定

家兔称重，按 3.2mL/kg 体重的剂量，由耳缘静脉缓慢注射 25％氨基甲酸乙酯，注意个体差异，不要麻醉过深。麻醉完毕，将动物背位置于实验台上。

2. 暴露皮层

剪去头顶部的毛，沿正中线纵向由眉弓剪至枕部，切开皮肤 4 cm，用手术刀柄刮净颅骨上的结缔组织（包括肌肉和骨膜）。

3. 开颅手术

在一侧顶骨上用颅骨钻钻孔（图 11-3-2），调节颅骨钻深度，大致与颅骨厚度相当，有血渗出时用咬骨钳小心地将所钻部位的颅骨掀掉，伸入骨孔，扩大骨创。勿伤及硬脑

膜。向前开至额骨前部，向后开至顶骨后部及人字缝之前（切勿掀动人字缝前的顶骨，以免出血不止），扩创时遇有出血，可用脱脂棉沾拭，扩创后应暴露双侧大脑半球。

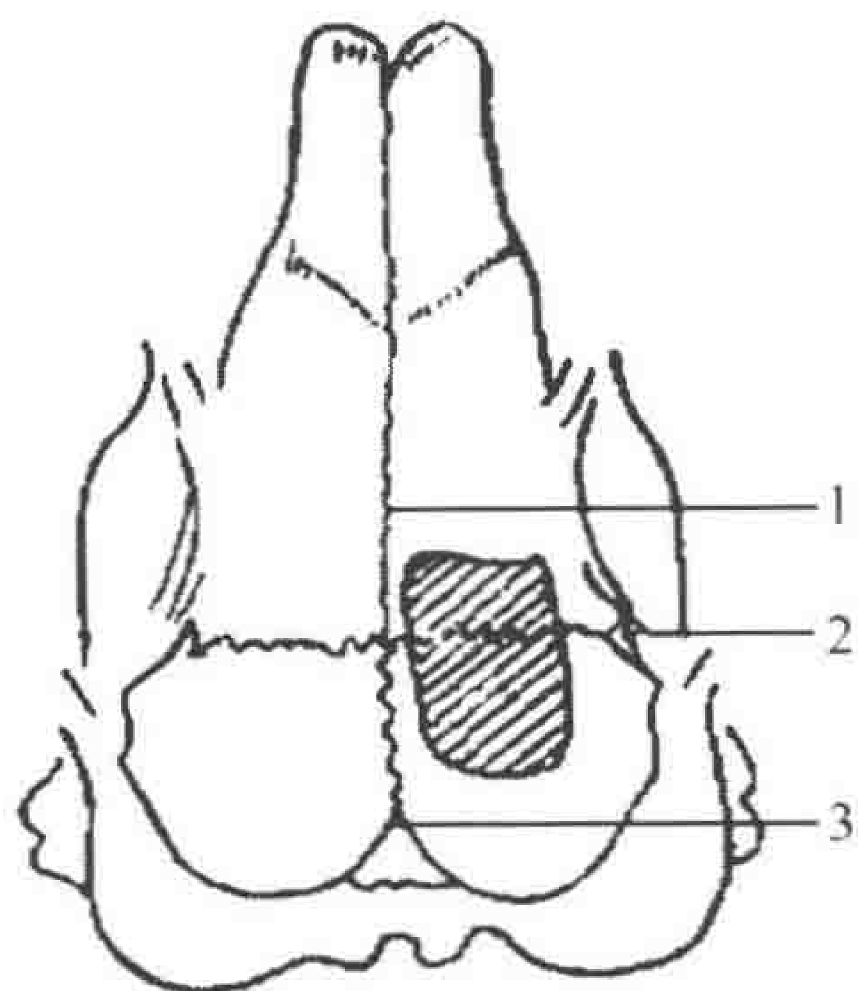


图 11-3-2 兔颅骨背面观及开颅部位

1. 矢状缝；2. 冠状缝；3. 人字缝

在开颅手术接近矢状缝和人字缝时尤要注意勿损伤矢状窦和横窦，避免大出血，可将手术刀柄伸入矢状缝下，使矢状窦与骨板分离。继续向对侧扩大开口，使大脑两半球大部分暴露。

4. 实验观察

(1) 用小镊子提起脑膜并仔细剪开，暴露大脑皮层，滴上少量温热的液体石蜡。将刺激电极的连线与信号采集系统的刺激输出插孔相连，参照电极（无关电极）放置在动物的口中，即颅底正中的位置上。探测电极露出细丝状的前段，尖端部分要求细小、钝圆、光滑。调节刺激器，用强度 6～12V、波宽 1～2 ms、刺激时间 5～10s、频率 10～100Hz 的连续刺激依次刺激大脑皮层不同区域，观察并记录动物躯体运动情况。每次刺激后休息约 1min。

(2) 在预先绘制的皮质轮廓图上标出对应各个部位肌肉运动的皮质刺激点（图 11-3-3）。

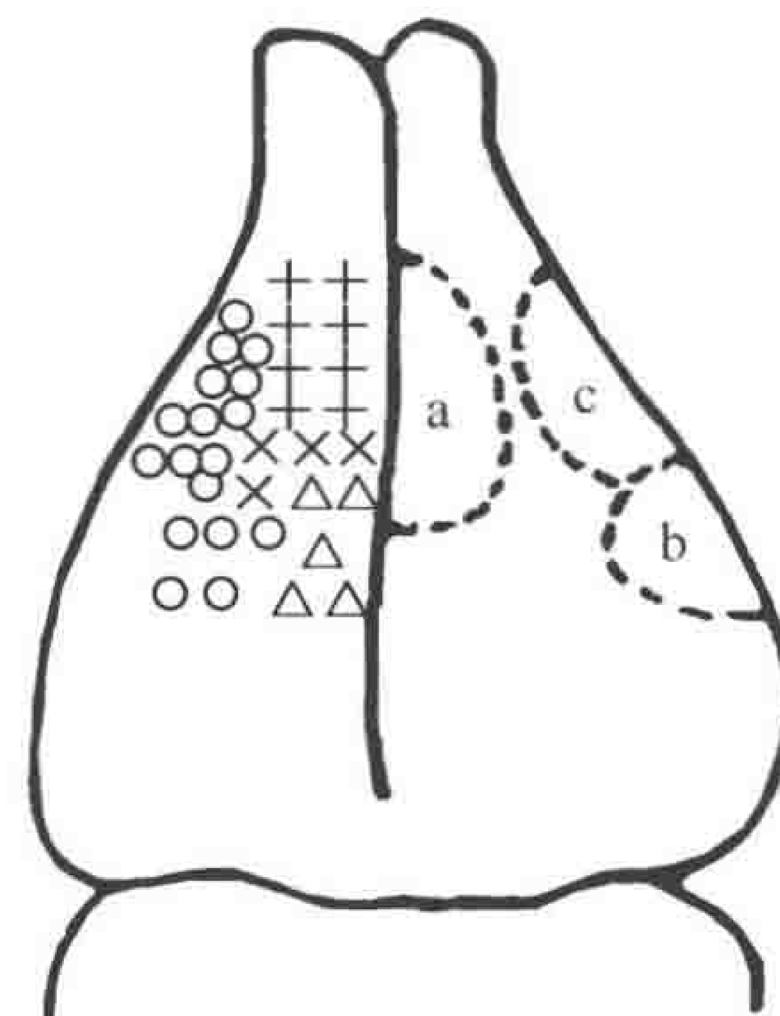


图 11-3-3 家兔大脑皮质轮廓及刺激位点

a. 中央后区；b. 脑岛区；c. 下颌运动区；○. 头、下颌；△. 前肢；+. 颜面肌和下颌；×. 前肢和后肢

【注意事项】

1. 麻醉不宜过深，刺激不宜过强，两个刺激电极尽可能靠近，但勿短路。

2. 每次刺激应持续 5～10s（因大脑皮层引起骨骼肌收缩的潜伏期较长）。

3. 电刺激家兔大脑皮层各点时，微微放松四肢的捆绑绳，以便准确观察各项指标。

【思考题】

1. 分析受刺激的大脑皮层区域和发生收缩的肌肉之间的功能关系，总结运动代表区的位置、分布范围等特征。

2. 说明大脑皮层运动区的机能特征。

实验 11-4 家兔大脑皮层诱发电位

【目的要求】

1. 学习记录大脑皮层诱发电位的方法。

2. 观察大脑皮层诱发电位的波形。

【原理】

大脑皮层的电活动可以分成两大类：自发电活动和诱发电位。凡是对外周感受器、感觉神经、感觉系统中任何结构进行特定刺激，在其高级脑部记录到的电位变化，都被

称为诱发电位。在大脑皮层记录的诱发电位被称为皮层诱发电位。

诱发电位具有一定的潜伏期，这决定于刺激点与记录点的距离、冲动的传导速度和经过突触的数目；诱发电位分布在一定的皮层区，这决定于刺激部位在大脑皮层的感觉代表区；诱发电位有一定的波形，分为主反应、次反应和后发放。主反应的潜伏期短，8～20ms，出现在代表区的中心，绝对不应期 30～60ms，电位先正后负，分别反映突触前和突触后电活动成分。次反应的潜伏期长，30～80ms，出现在代表区的周围区，阈值较高，波形呈高幅的正电位；在次反应后有时出现后发放，这是一个周期性、单向的动作电位，可能是丘脑神经元周期性的活动造成的。

由于大脑皮层存在着自发电活动，诱发电位是在自发脑电的基础上出现的。后者在振幅和频率等方面的变化妨碍对诱发电位的观测。为了从自发脑电的背景中观测诱发电位，通常有两种方法：其一，利用电子平均装置（electronic averaging device），使振幅和频率变化无规律的自发电位经多次叠加，相互抵消。而具有一定潜伏期、振幅和波形的诱发电位经多次叠加被总和、放大；其二，使动物麻醉到相当深的水平，压抑自发电活动的幅度，使诱发电位清晰地显示出来。

【动物与器械】

家兔；常用手术器械、止血钳、剪毛剪、眼科剪、咬骨钳、颅骨钻、支架、二维位移微调器、生物信号采集系统、手术台、固定箱、保护电极、银球电极（单电极）、玻璃分针、手术灯、纱布、棉球、棉线、注射器（20mL），温热石蜡油（38℃）、生理盐水、10％氨基甲酸乙酯、1％氯醛糖。

【方法与步骤】

1. 动物的麻醉与固定

家兔称重，1％氯醛糖与10％氨基甲酸乙酯按 1∶1 混合以 5mL/kg 为参考量，从耳缘静脉注射。麻醉完毕，将动物腹面向下置于实验台上。用兔头固定器固定兔头。注意：固定兔头时，头部要高于躯体，使之不易发生脑水肿。

2. 暴露皮层

剪去兔颅顶毛、正中切开头皮、钝性分离，充分暴露颅骨、用钝刀片或刀柄刮净骨膜，在刺激的对侧，矢状缝旁开 4mm，冠状缝后 3mm 处，用直径 5mm 的颅骨钻打孔（图 11-4-1）。打孔时勿用力过大，严禁将硬脑膜和皮层钻伤。打孔后，用虹膜分离器将硬脑膜与颅骨分离，然后用咬骨钳一小块一小块地咬去上述范围的颅骨（图 11-4-2），断面用骨蜡止血。用针将硬脑膜掀起，用眼科剪将硬脑膜剪开，小心地掀起四周，操作中切忌伤及脑实质和脑表面的血管。出血时，要用明胶海绵止血。掀开后，立即滴入 39～40℃的液体石蜡以保温并防止干燥。同时要立即进行实验。

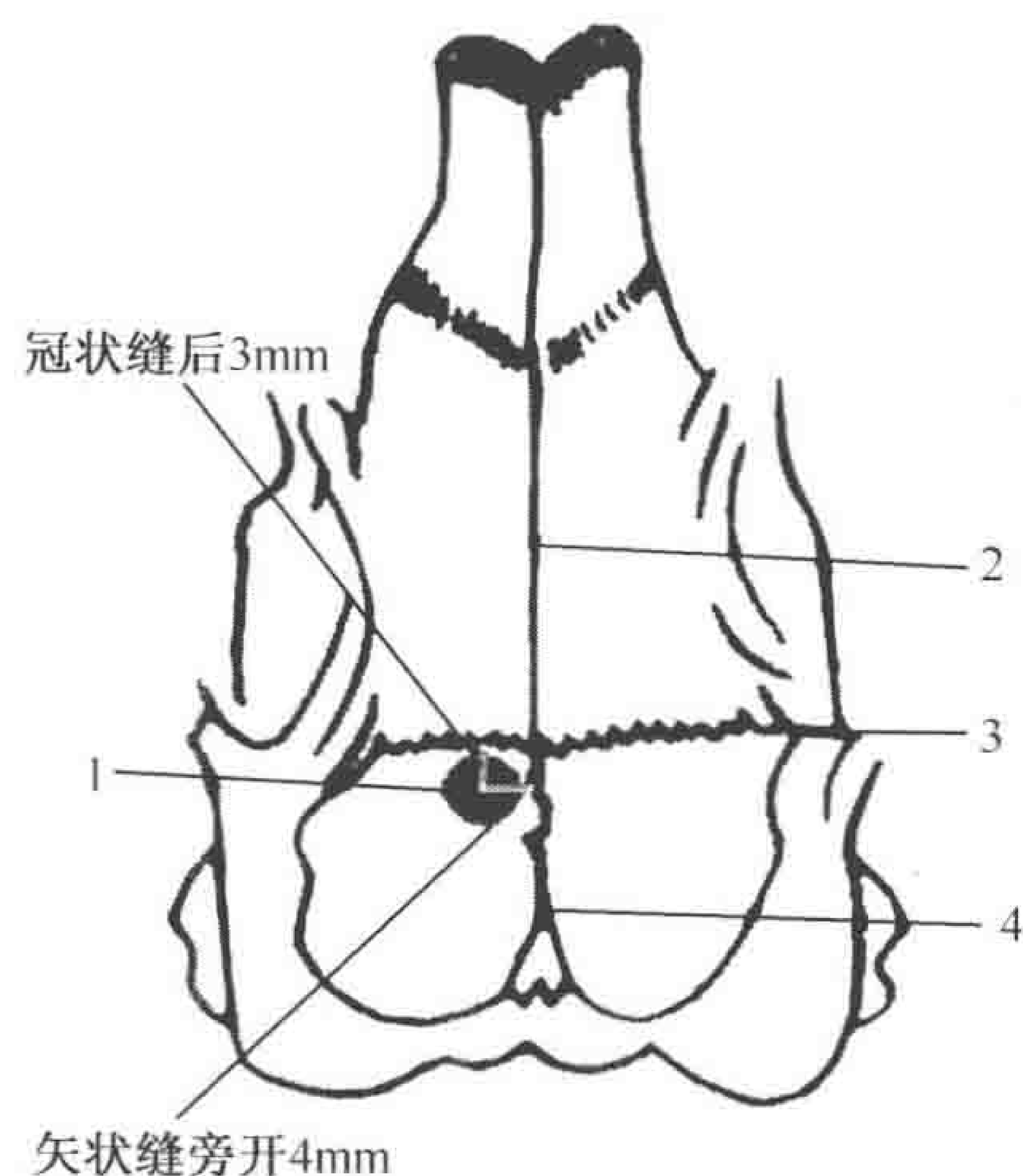


图 11-4-1　兔颅骨标志图

1. 钻孔处；2. 矢状缝；3. 冠状缝；4. 人字缝

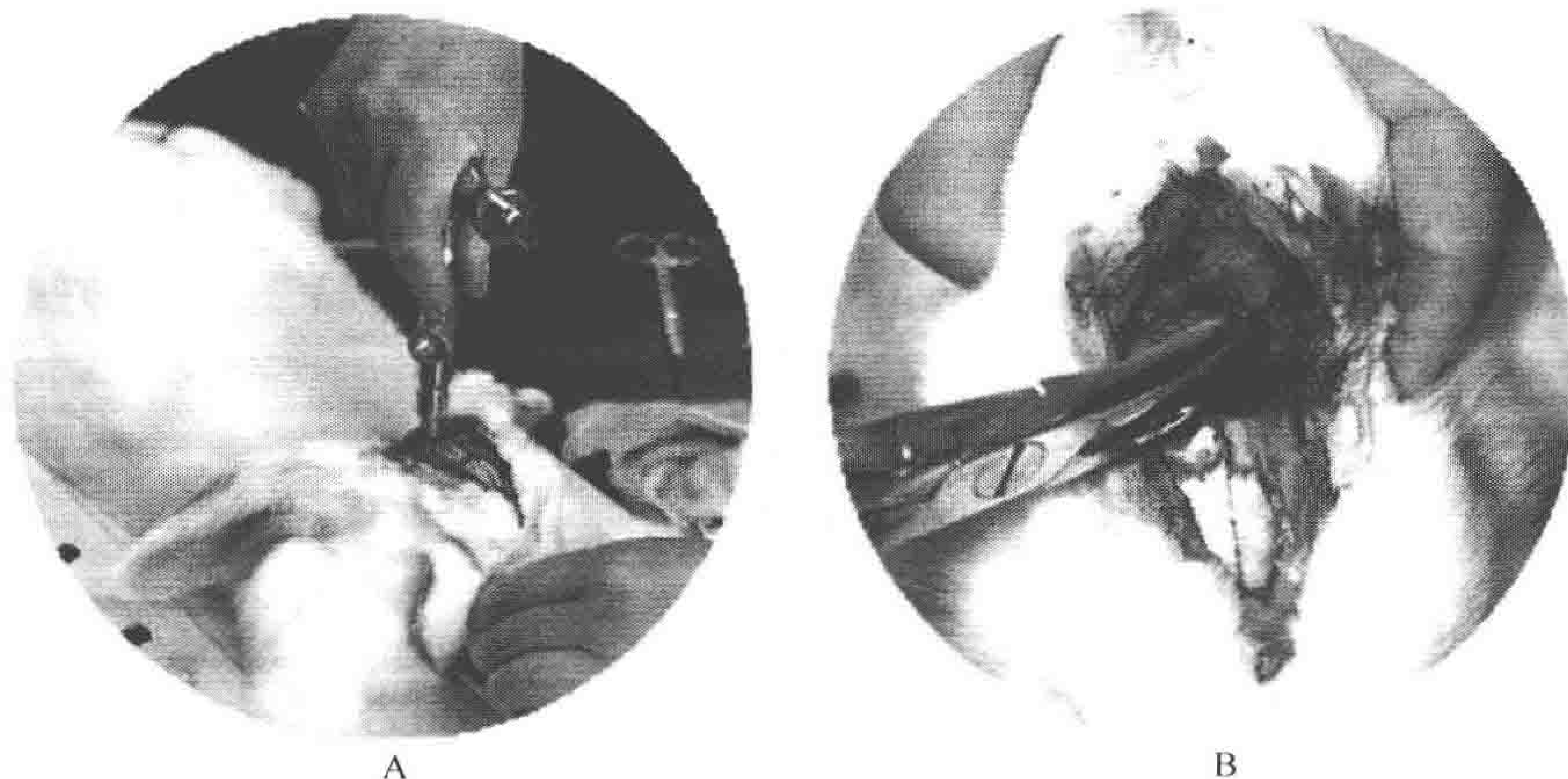


图 11-4-2 开颅手术

A. 用颅骨钻钻孔；B. 用咬骨钳移去骨片

3. 实验仪器连接及参数设置

将尖端呈球形的银丝电极安装在二维位移微调器的电极支架上，并移到颅骨孔的上方，向下轻调位移微调器，使电极球状尖端与皮层表面接触。电极与放大器相连，脑电信号进入生理信号采集处理系统（图 11-4-3）。

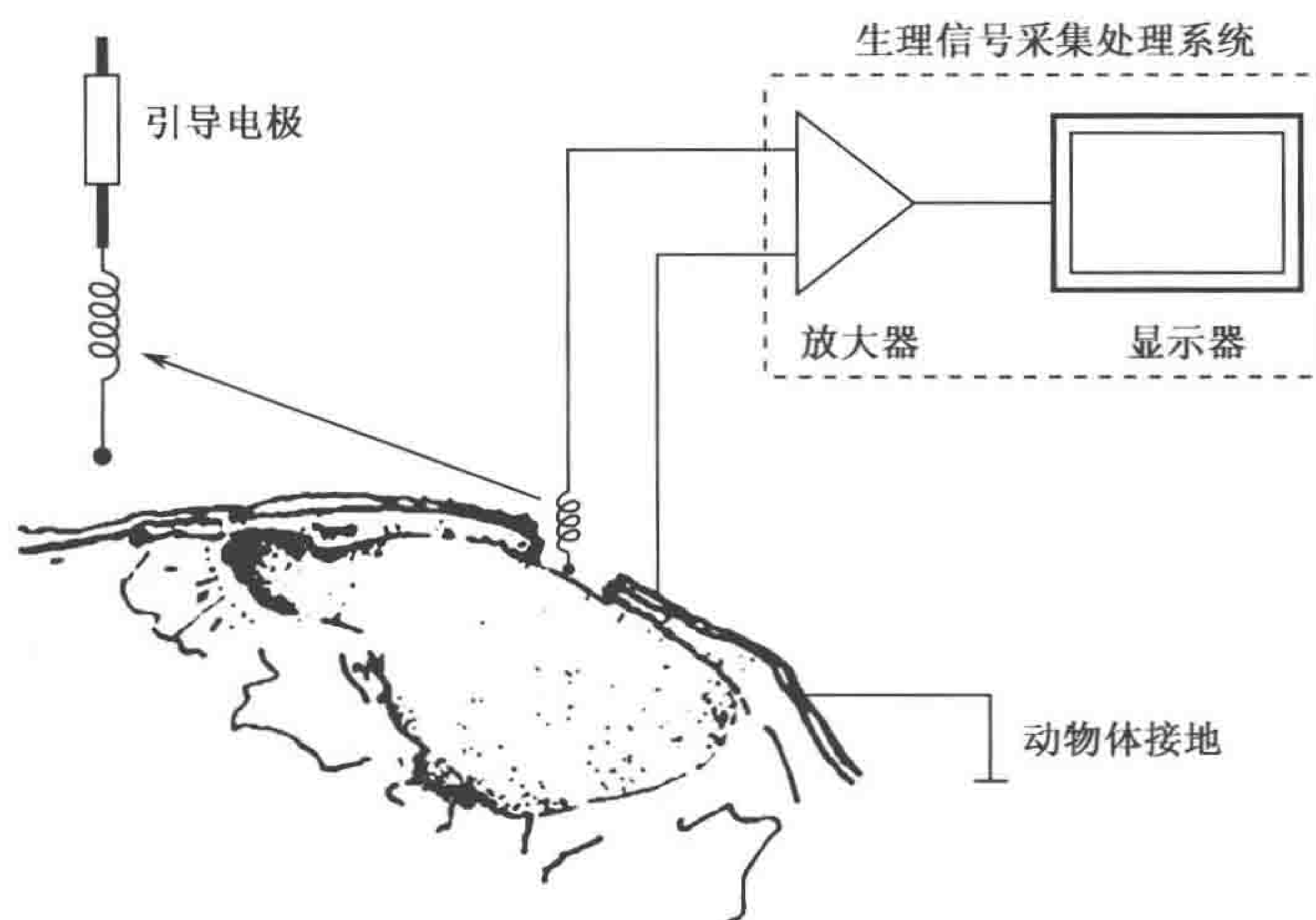


图 11-4-3 记录家兔大脑皮层诱发电位的实验装置示意图

仪器参数设置如下：生物电记录模式，采样频率 20kHz、时间常数 0.1～0.02s、高频滤波 1kHz、灵敏度 0.2～0.5mV/div、10～50ms/div。

4. 观察自发脑电

保证放在颅骨小孔内的悬浮式银球引导电极，与皮层接触良好。参考电极置于头皮切口处。动物接地（接地电极装置在刺激电极和引导电极之间的皮肤切口处）。观察自发脑电的振幅、频率和波形的变化（图 11-4-4）。

5. 测定诱发电位发生区的中心和范围

将针灸针插入对侧的前肢及后肢的皮下，连接刺激电极进行电刺激（强度以肢体因刺激微动为宜），观察辨认皮层诱发电位。如诱发电位不明显，可移动引导电极的位置，寻找较大、恒定的诱发电位区域。

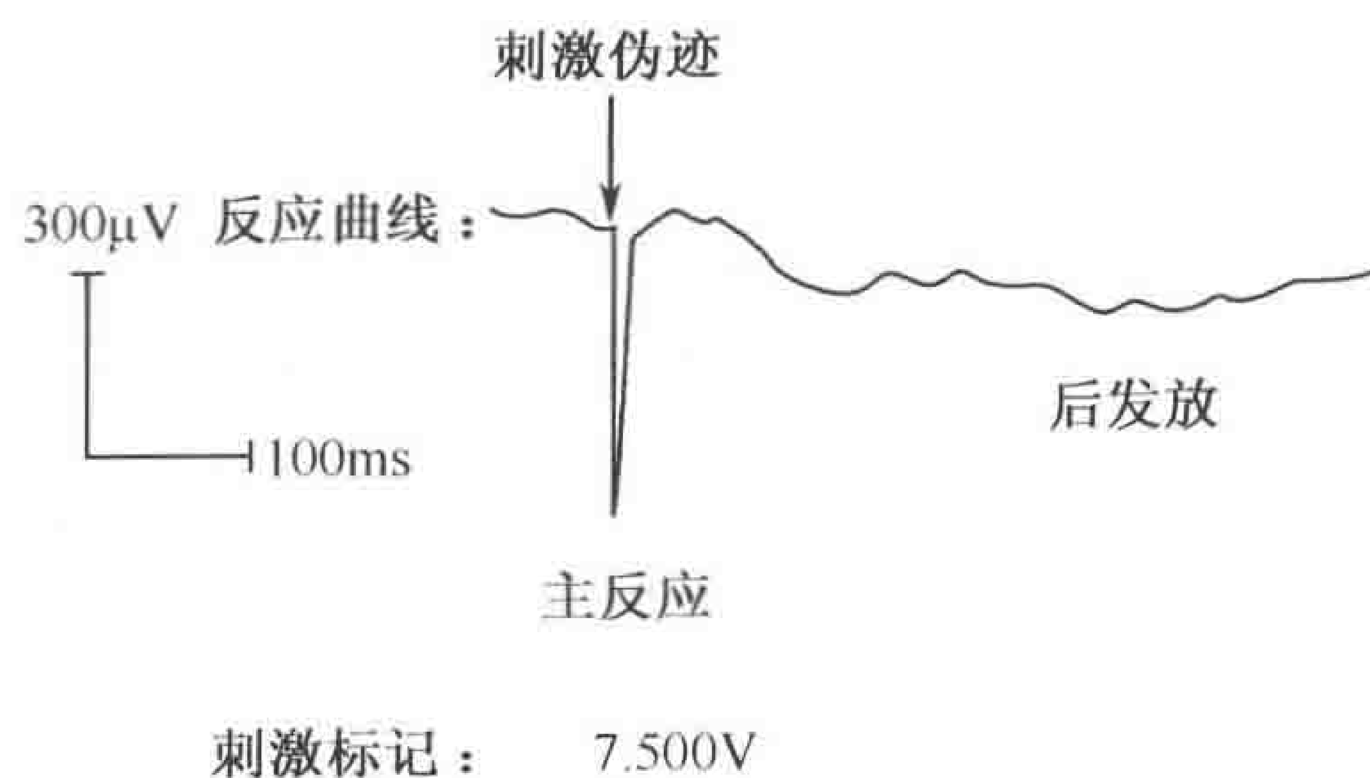


图 11-4-4 刺激家兔前肢 6 次叠加平均后的皮层诱发电位

测定中心区记录诱发电位的潜伏期、主反应的正波和负波的振幅及持续时间。观察有无次反应？将扫描速度放慢，观察有无后发放？

信噪比较小的情况下，可用叠加平均的方法。

【注意事项】

1. 为减小自发放电背景的影响，本实验应采用深度麻醉，一般以呼吸频率 20 次/min为宜。

2. 实验最好在屏蔽室或屏蔽箱内进行，以防干扰。

3. 皮层诱发电位对温度十分敏感，在剪开脑膜之后，要经常更换温热石蜡油。

【思考题】

1. 如何从自发电活动中识别诱发电位？

2. 请解释皮层诱发反应中下列成分的产生机制及影响因素：潜伏期、主反应的正负双向波、次反应和后发放。

实验 11-5 去大脑僵直

【目的要求】

1. 学习去大脑方法。

2. 观察去大脑僵直现象，了解高位中枢对肌紧张的调节作用。

【原理】

中枢神经系统对伸肌的紧张度具有易化作用与抑制作用。易化作用使肌紧张加强，易化区主要包括前庭核、小脑前叶两侧部和网状结构易化区；抑制作用使肌紧张减弱，抑制区主要包括大脑皮层抑制区（4S 区等）、纹状体、小脑前叶蚓部和延髓网状结构抑制区。通过这两种作用，使骨骼肌保持适当的紧张性，维持机体的正常姿势（图 11-5-1）。

如果在动物中脑上、下丘之间横断脑干，则抑制区失去较高级中枢的兴奋作用，抑制伸肌紧张性的作用减弱，而易化伸肌紧张性的作用相对加强，特别表现为伸肌紧张性亢进，动物将出现四肢僵直、头尾昂立、脊柱挺硬等反常现象，称为去大脑僵直现象。

【动物与器械】

家兔；手术台、常用手术器械、咬骨钳、骨钻、止血钳、剪毛剪、竹片刀、25%氨基甲酸乙酯、生理盐水、纱布、棉球。

【方法与步骤】

1. 耳缘静脉注射氨基甲酸乙酯，将动物麻醉，取背位固定于实验手术台上。

2. 分离两侧颈总动脉，穿线系紧。

3. 将动物改为腹位固定，按实验 11-3、实验 11-4 方法开颅，暴露大脑半球后缘。

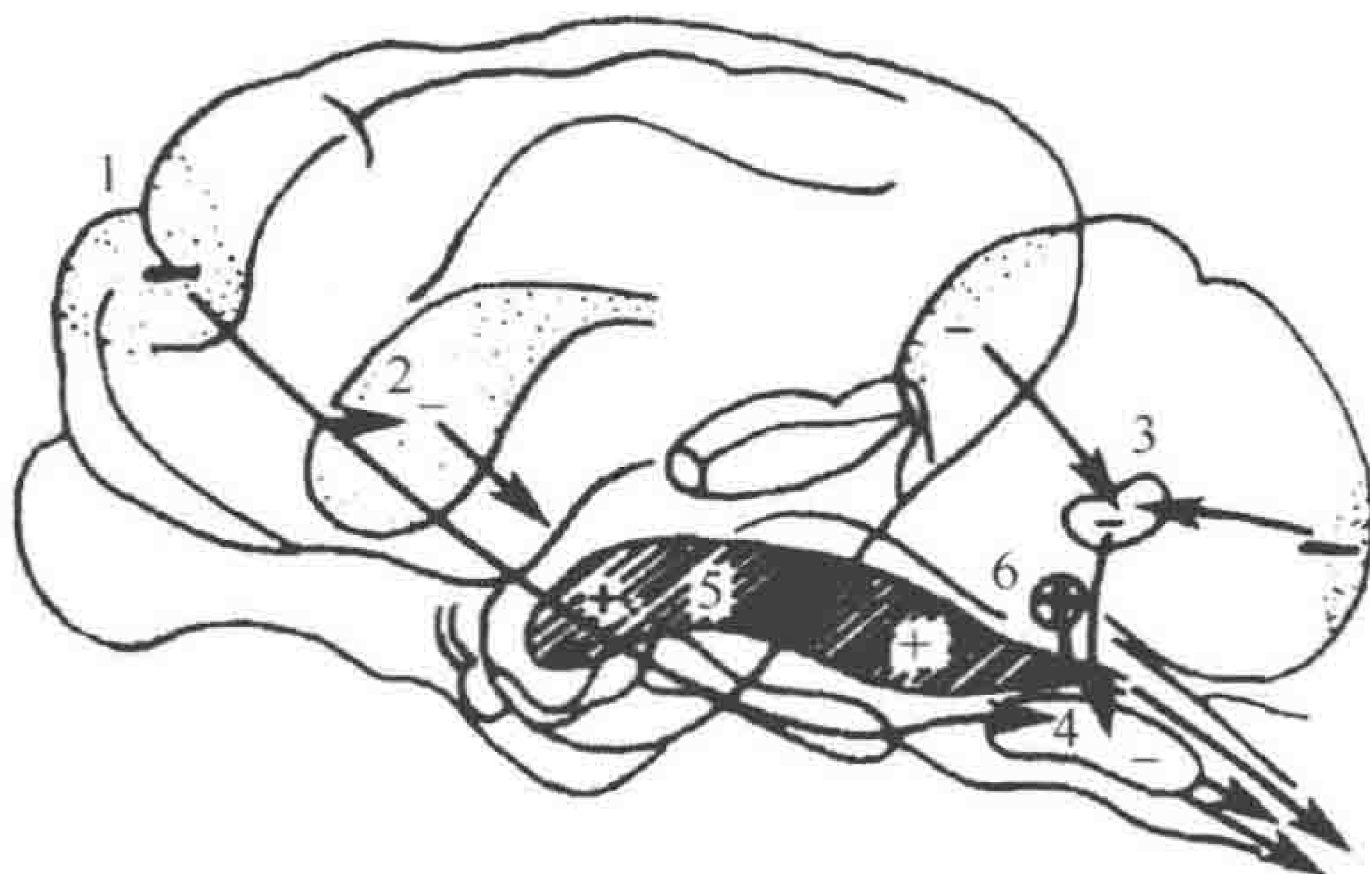


图 11-5-1　猫脑内与肌紧张调节有关的脑区及其下行路径示意图

下行抑制作用（一）路径：4 为网状结构抑制区，发放下行冲动抑制脊髓牵张反射，这一区接受大脑皮层（1）、尾核（2）、和小脑（3）传来的冲动；下行易化作用（+）路径：5 为网状结构易化区，发放下行冲动加强脊髓牵张反射，6 为延髓前庭核，有加强脊髓牵张反射的作用

4. 松开动物四肢，左手将兔头托起并向前屈曲，右手用手术刀柄将大脑半球后缘向前拨动，露出四叠体（上丘较大，下丘较小），用竹片刀在上下丘之间沿口裂方向（约 45°）切断脑干（将刀柄插向颅底横切，同时向左右两边拨动，将脑干完全切断）（图 11-5-2）。

5. 实验观察：使动物侧卧，几分钟后，动物四肢和躯干逐渐变硬（前肢较后肢明显），头昂举，尾上翘，呈角弓反张的僵直状态（图 11-5-3）。

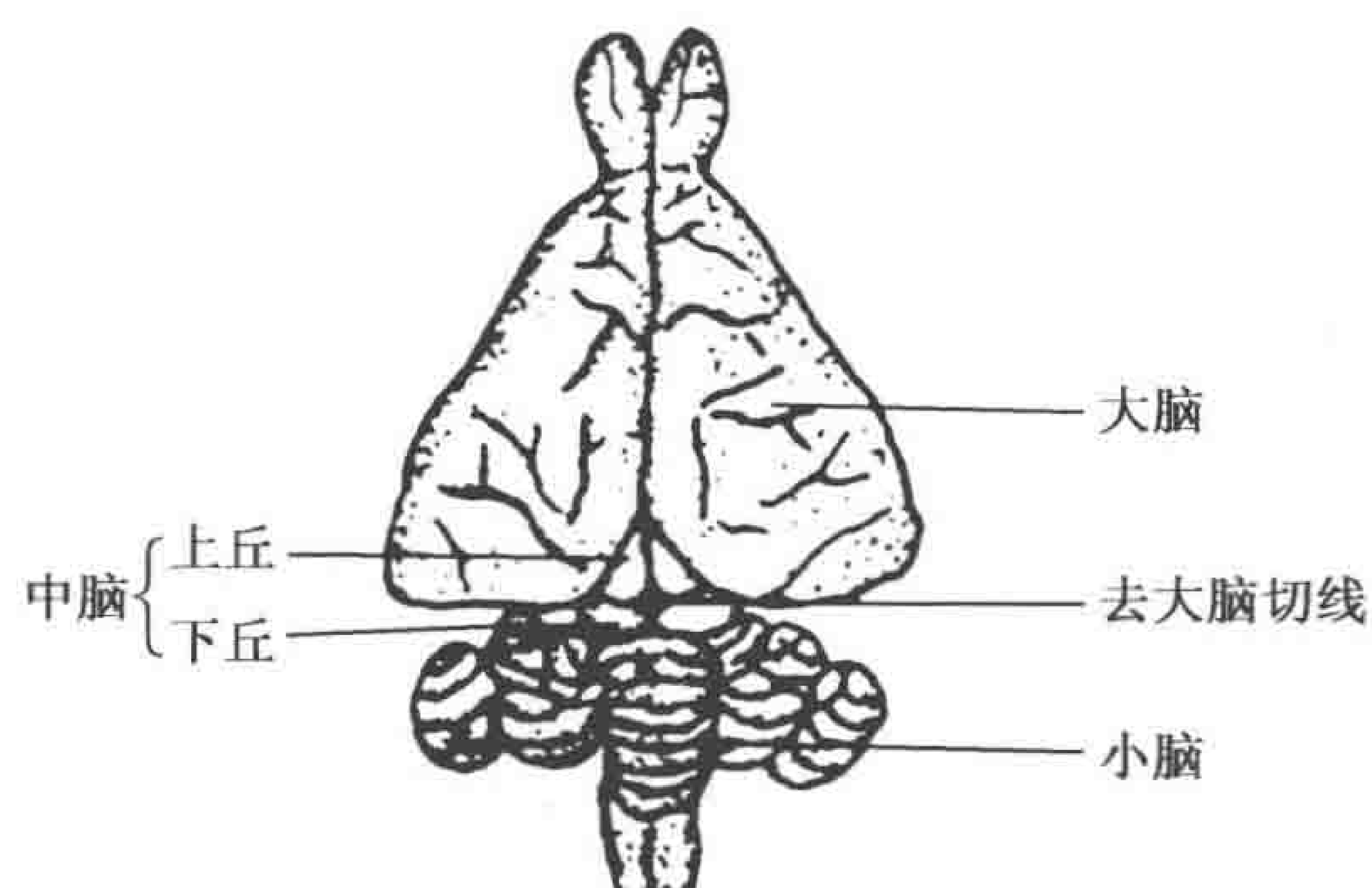




图 11-5-2　横断大脑的部位

【注意事项】

1. 切断部位要准确，过低将伤及延髓（呼吸中枢），导致呼吸停止，动物死亡。

2. 切断后要等 10min 左右，若不出现僵直现象，可改变切断角度或将切断水平略向后移，再次离断。

3. 横断时位置要正确，若动物突然挣扎，此时切勿松手，继续切至颅底。

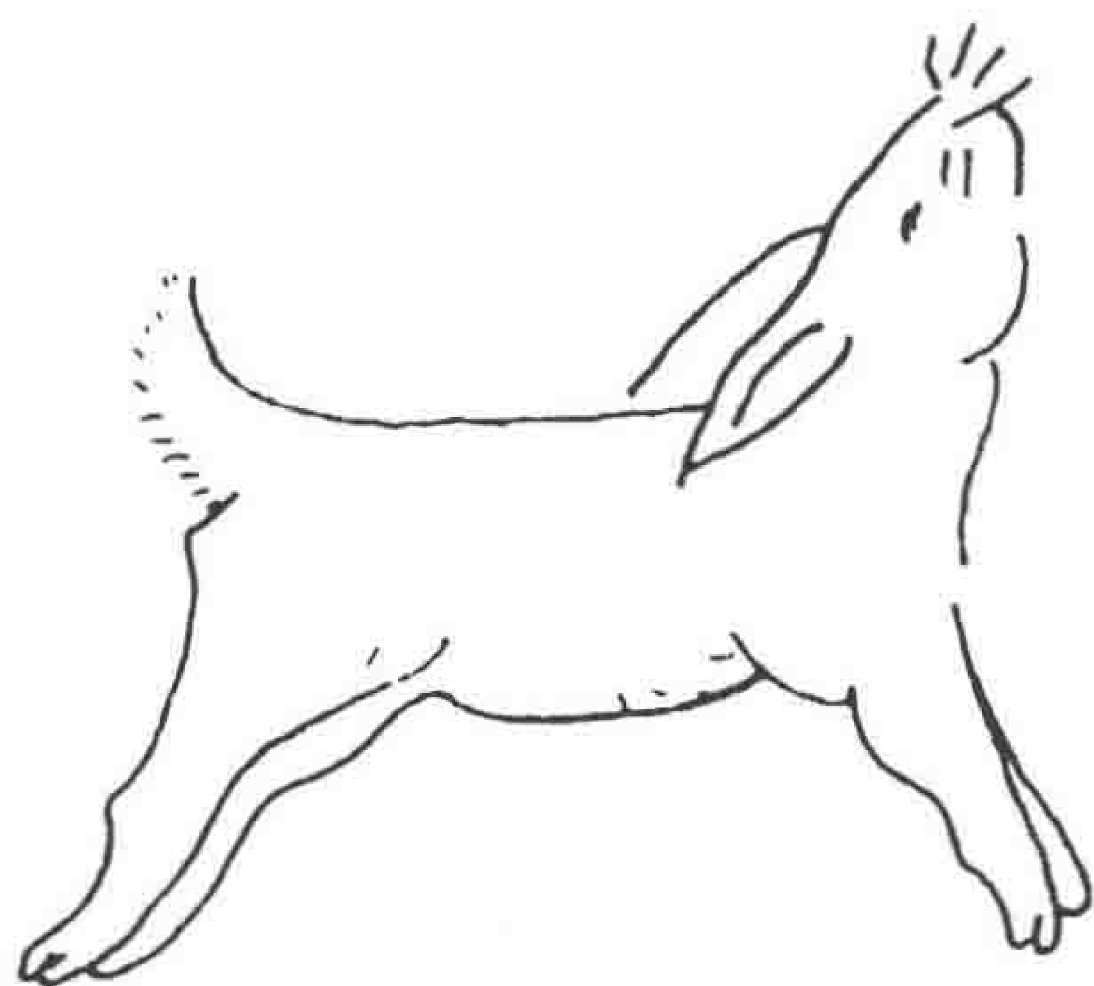
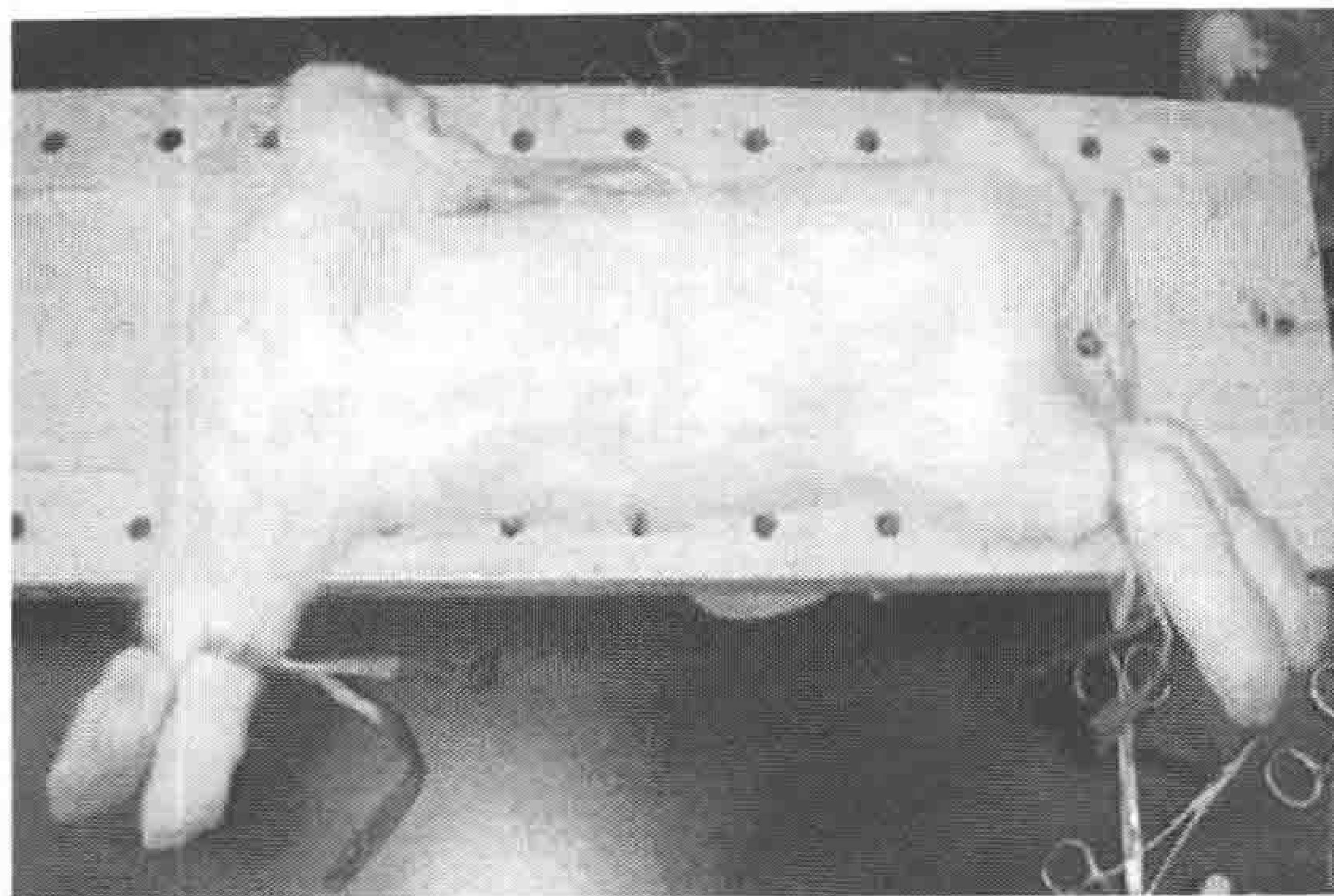



图 11-5-3　兔去大脑僵直现象

4. 适度牵拉动物躯体和四肢，可加速出现或加强僵直现象。

【思考题】

说明去大脑僵直的发生机理。

实验 11-6　几种动物（家兔、豚鼠、蟾蜍）脑电活动的描记

【目的要求】

1. 掌握动物脑电活动描记的方法。

2. 学习分析动物脑电图，解释其原因。

【原理】

实验 11-1 已经介绍了人脑电图的描记方法。一般把引导电极放在头皮表面或用皮下电极针通过记录仪器所记录的大脑皮层自发电活动的波形图，称为脑电图（EEG），而将引导电极放在皮层表面或插入皮层内所记录的脑电活动的波形图，称为皮层电图（ECOG）。脑电图的振幅一般只有皮层电图的 1/10，因此，除了在临床诊断上常采用脑电图描记外，在急性和慢性的动物实验中常采用皮层电图的描记，后者还可以避免肌电的干扰。

两栖类动物虽未形成高级的大脑皮层，但已有原始皮层的萌芽，而且在它的各个脑区表面，同样能够记录到其脑电活动。

记录脑电活动的方法很多，本实验用慢性埋藏电极记录家兔的皮层活动；用钉针电极记录豚鼠皮层听区的诱发电位；用银丝电极记录蟾蜍各脑区表面的活动。

【动物与器械】

家兔、豚鼠、蟾蜍；计算机采集系统、有机玻璃埋藏电极（中间穿一银丝的有机玻璃螺丝钉）、银丝电极（末端呈球状，除尖端裸露外其余部分用高聚酯漆绝缘）、5～7号缝衣针、小塑料套管、微操纵器、简易蛙头固定器（用一块板伸进蛙的口中，向上顶起、两侧用两支小棒把上骨的边缘压住，使头固定不动）、解剖器械一套、手圆锯和螺丝钉、小三棱针（兼做刺蛙针用）、巴比妥钠、消炎粉、碘酊、钝头螺丝刀。

【方法与步骤】

1. 家兔皮层脑电图的描记

（1）家兔用巴比妥钠腹腔注射麻醉 35mg/（kg 体重），头顶剪毛，皮肤用碘酊和 75%酒精消毒。于两侧耳根之间横向切开皮肤，拨开皮瓣，用刮刀分离颅骨上的软组织，找到矢状缝和冠状缝。然后在矢状缝左、右各分开 4mm，冠状缝各向后 2mm 处用手圆锯钻两孔，注意不要穿破硬脑膜，取出骨片后用钝头螺丝攻在孔内攻上螺纹，有机玻璃埋藏电极（75%酒精消毒）旋进骨孔内（手圆锯、螺丝攻和埋藏电极的直径和螺距是互相配套的）不要太深，以免压迫脑组织，以中央露出的银丝能接触到硬脑膜即可，最后把皮肤切口缝合，并撒上一些消炎粉。动物单笼饲养，最好不要放在铁丝笼里，以防把电极碰脱。

（2）固定电极后将动物放在一屏蔽小室内，让其安静适应一段时间，只要 1～3 天即可在自由活动的动物身上进行记录。

（3）打开计算机采样系统，选择脑电图实验模块。将两根输入导线夹于动物头部的两个电极上，接地线连接动物体表。等动物安定，基线呈现稳定不飘移时，记录一段动物在觉醒状态时的皮层脑电图波形。

（4）保持实验环境的安静，动物时常会进入睡眠状态，这时荧光屏上会出现不规则的高压慢波。记录一段动物睡眠时的皮层脑电波形后，用哨子把动物唤醒，此时的皮层脑电波形可以出现低振幅的不规则的快波。然后用手轻轻触摸动物，观察波形的变化。

2. 豚鼠皮层听区诱发电位的描记

（1）挑选体重 400～500g 耳郭反应阳性的豚鼠，用巴比妥钠腹腔注射麻醉 40mg/（kg 体重）。在一侧耳根内侧剪毛并切开皮肤，拨开皮瓣，刮去颅骨上的软组织，暴露冠状缝和顶颞缝。在离冠状缝后 4～6mm，顶颞缝上 0～2mm 处（以体重为 500g 左右的胚豚鼠为标准，体重偏重或偏轻时，这些距离也应作相应的增减）即为皮层听区的中央位置，把一根 5～7 号的普通缝衣针在离针头 1.5mm 处套一段塑料小管（以保证针体和皮肤切口间的绝缘，也可作为插入深度的标志），用小锤子将针尖垂直地钉进颅骨，深度约 1.5mm，以刚穿透颅骨为宜（这时摇动针体，动物的头能跟着转动即牢固可靠）。

（2）将动物移至小屏蔽室内，将采集器输入电极的正极夹在裸露的针体上，负极和接地线夹于创口的皮瓣上。在脑电模式下进行记录观察。

（3）对钉针电极对侧的耳朵给予一定的噪声刺激，调节适当的扫描速度和放大倍数，即可观察到每施加一次短声刺激，就出现一个先正后负的皮层听区诱发电位。改变刺激音量大小，观察诱发电位的变化。

（4）改用音乐或讲话进行刺激，观察诱发电位的波形，对结果进行分析。

3. 蟾蜍脑电活动的记录

（1）把一根直径约 0.2mm 的银丝，尖端在酒精灯上小心烧成圆球形，涂上绝缘漆，于 80℃的烘箱中烘干（涂 2～3 次）。用细砂纸轻轻磨去圆球顶端的绝缘漆，银丝穿过一条细塑料管（球端留出 2cm，另一端留出 2cm 并把塑料管在酒精灯上烤熔与银丝压紧黏在一起）并固定在微电极操纵器上。

（2）按常规方法毁脊髓（注意不要毁损脑），把头顶上从鼻骨到枕骨及两眼眶之间的皮肤剪去，刮去颅骨上的软组织，在相当于一侧嗅球、大脑和中脑的颅骨处用三棱针轻轻各钻一小孔直到脑表面，以有渗出液流出为止，不要太深。将蟾蜍移于屏蔽室中。

（3）将蟾蜍头固定于简易蛙头固定器上，用微电极操纵器轻轻地把银丝的圆球送入嗅球部位的小孔中，以穿过颅骨为止，银丝电极的另一端与计算机采集系统的输入导线相连。另一条输入导线与地线夹于枕部皮肤上。观察嗅球的自发放电活动。

（4）再分别记录大脑和中脑的自发脑电活动的波形，并进行分析。

【注意事项】

1. 在家兔大脑皮层中埋藏电极时，定位要准确，深度要适宜，切不可太深或太浅。豚鼠实验中钉针电极和蟾蜍实验中银丝电极的安插位置都要准确，否则会严重影响实验结果。

2. 保持实验环境的安静，减少外界不必要的干扰。

【思考题】

1. 分析家兔皮层脑电图波形。

2. 比较豚鼠的诱发电位和家兔的自发脑电。

3. 分析蟾蜍脑电活动。

第十二章　感觉器官

尽管外界的温度、可利用的食物常常发生改变，有毒、危险物质以及其他影响因素总是存在，但是生物体内环境仍然保持着相对平衡。生理学主要是研究维持体内平衡（即稳态）的调节机制。这种调节主要是通过神经系统和内分泌系统发挥作用的。

为了维持稳态，有机体必须具有鉴别特殊的环境因子并做出适当反应的能力。在最简单水平上，识别是通过刺激特殊的感觉感受器来获得，例如皮肤感受器。一个特定的感受器通常只对一种刺激形式起反应。例如眼睛的视杆细胞和视锥细胞只接受光线的刺激。每一个感受器将特殊的环境刺激转化为电神经冲动，然后传到大脑的特定区域。大脑是所有感觉的最终整合中心，包括触觉、痛觉、视觉、听觉、平衡觉和味觉。

实验 12-1　皮肤感受器和牵涉痛

【目的要求】

1. 了解皮肤感受器的点状分布。
2. 了解皮肤感受器的结构及其各自所调控的感觉形式。
3. 了解皮肤不同区域两点接触阈的差异，并理解获得性差异的生理学意义。
4. 了解感觉适应性及其意义。
5. 了解牵涉痛及其产生原理，临床意义。

【原理】

皮肤感受器把机械或化学刺激转换成神经冲动（动作电位）。这些冲动从感觉神经元传到中枢神经系统，最终到达能将这些冲动翻译成特殊感觉的大脑皮质区域。不同的感受器对不同刺激有最大敏感性，因此激活不同的感觉神经元。大脑通过对特定神经元的动作电位的翻译而产生感觉。

【材料】

1. 细刚毛、冷和温金属杆。
2. 圆规、冷水和温水。

【方法与步骤】

1. 描述皮肤的温度觉和触觉感受器

传统上皮肤的感觉分为：温觉、冷觉、触压觉和痛觉。在皮肤上描记这些感觉（例如温度觉和触觉），发现感受器在皮肤上并非均匀分布，而是在不同区域成点状分布。

因为四种感觉的点状分布都是不同的，所以生理学家一开始就认为每种感觉是由不同的感受器所调控，这种观点逐渐为不同皮肤感受器的组织学所证明（图 12-1-1）。

（1）用圆珠笔在受试者前臂腹面画一个正方形（边长 2cm）。

（2）使受试者闭眼，用一根干燥冰冷的金属棒轻微地接触正方形的不同区域，在有冷的感觉的区域处点上黑点。

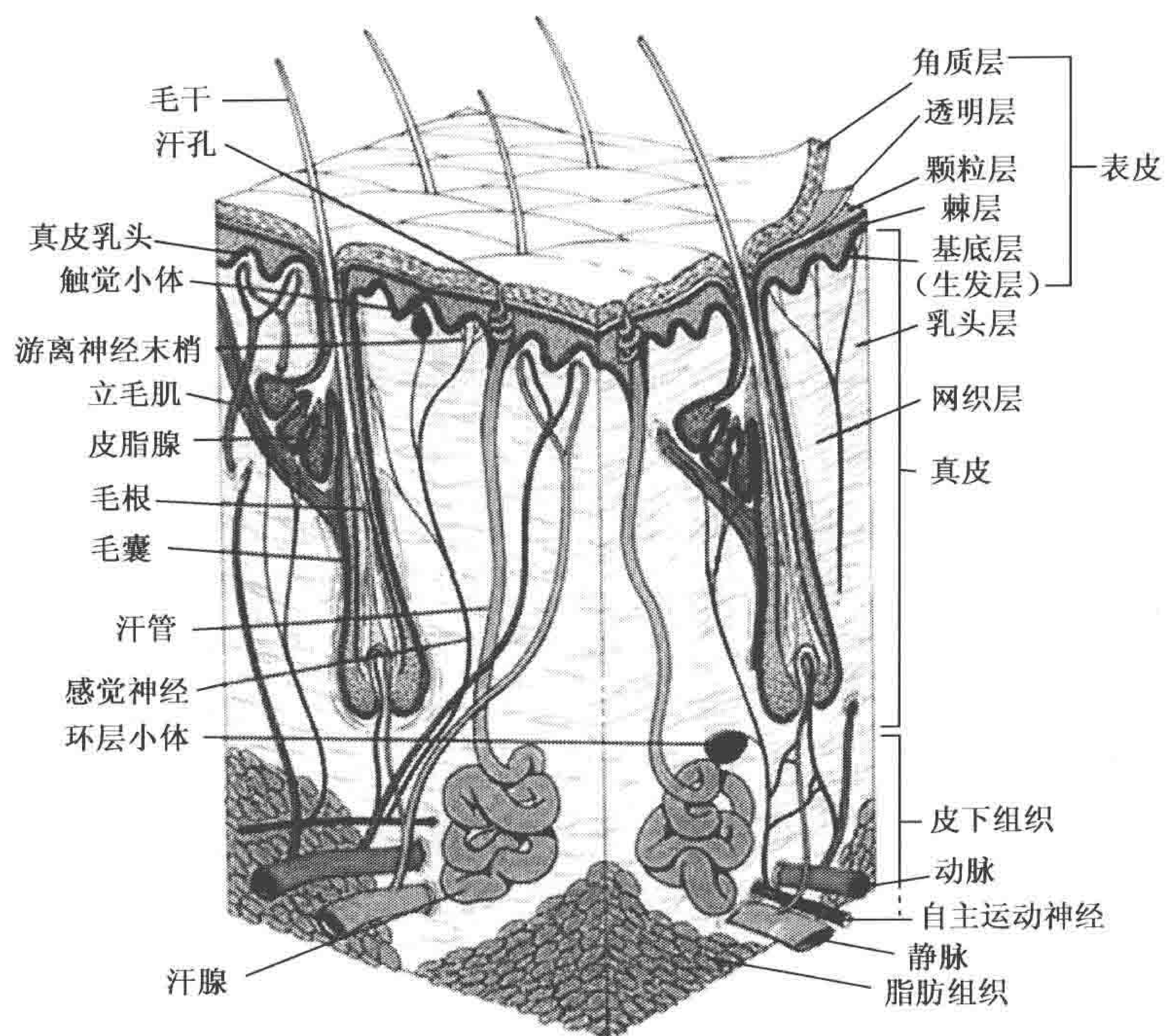


图 12-1-1　皮肤组织结构示意图

（3）用一根干燥、温暖的金属棒（水浴加热至大约 45℃）轻微地接触正方形的不同区域。在有温暖感觉的区域处画上半圆。

（4）用细刚毛轻微地接触正方形的不同区域，在有触觉的区域画上×。

（5）在实验报告上，绘制皮肤的温度觉和触觉感受器。

2. 触觉的两点阈测试

身体上一些部位触觉感受器的密度会大于其他部位，与身体不同区域相对应的感觉皮层也有不同的大小。有着大密度触觉感受器的身体区域也接受大量的运动神经支配，支配这些区域的运动皮层相应也大于其他区域。大脑的感觉区和运动区的大片区域与脸部（特别是舌头和嘴唇）和手相关，而只有相对小的区域与躯干部、臀部和大腿相关。

两点阈测试可以测量触觉感受器的密度。把圆规的两个脚同时同压力地放在测试对象的皮肤上，询问测试对象是否感觉得到圆规的两个点，如测试对象答是，则靠近圆规的两个脚，重复测试直到其仅能感觉到圆规的一个点，其能感觉到两点的最小距离就是两点阈。

（1）将圆规两个脚叉开，达到最大值，然后逐渐减小，使测试对象闭上双眼，确定手臂的两点阈。

（2）在手掌、指尖和颈背重复这些操作。

（3）在下表中写下你的结果。

位点	两点阈/mm
手臂	
手掌	
指尖	
颈背	

3. 温度感受器的适应性

很多感觉感受器会对环境的急剧改变产生反应，而当这些刺激变得稳定时就停止了反应，这种现象叫做感觉适应性。例如，我们的嗅觉迅速适应实验室的气味；我们的触觉很快停止对衣服的感觉，直到这些刺激再改变。而痛觉则表示出很小的适应性。

将一只手放进温水中而另一只手放进冷水中，刺激程度会逐渐减弱，直到这两类温度感受器适应了新的环境温度。当这两只手随后放进适中温度的水中，放进冷水中的手会感到暖，而放进温水中的手会感到冷。感受器的标准或“零值”明显改变了。因此，温度感受器并不是绝对的，而与感觉适应时建立的基准相关。

(1) 将一只手放进温水中（大约 40℃），而另一只手放进冷水中，保持 1～2min（如感到非常不适时，马上将手移出水面）。

(2) 然后将双手放进大约 22℃ 的微温水中，在实验报告中记录你的感觉，写出结论。

4. 牵涉痛

感受器是感觉的转换器，将环境刺激转换成传入神经冲动（动作电位）。因为一根神经的动作电位和另一根神经的动作电位完全相同，所以感觉完全由受刺激的大脑区决定，对每一根感觉神经来说，这些脑区都是不同的。尽管某根感觉神经正常情况下是接受特定感受器的刺激，但是这根神经的损伤可能也会诱发动作电位，而这些信号将被大脑当作正常感觉来编码。如截肢者往往报告说感到失去的肢体会疼痛，失去的肢体似乎还在，这是幻肢现象的部分表现。其原因是损伤成了切除残留神经纤维的神经刺激，动作电位沿这些神经纤维传导到支配被截去区域的脑区，大脑产生感觉认为这些疼痛还是来自被截去的区域。

(1) 轻拍穿过肘部的上髁中央的尺骨神经。

(2) 描述你感觉到的麻刺感或疼痛的位点，感觉的位点和拍击的位点是否一致？

【注意事项】

1. 测试温度觉时，要注意接触皮肤的力度，以免混淆温度觉和触压觉。

2. 测试触觉两点阈时，要确保接触皮肤的两点是同时、同力接触皮肤的。

【思考题】

1. 你身体的哪个部位的触觉感受器的密度最大？这个事实有什么意义？

2. 描述牵涉痛在诊断深度内脏痛时的重要性，举例说明。

3. “大脑创造了我们对外界的感觉。”讨论这种观点，用幻肢现象来解释你的观点。

实验 12-2 眼睛和视觉

【目的要求】

1. 了解眼睛的结构及其功能。
2. 了解视敏度和视觉的适应性，理解常见的折光性问题。
3. 辨认外部的眼肌，了解其功能。
4. 了解视盘和中央凹，掌握其意义。
5. 用实验证明盲点的存在，了解其原因。

【原理】

眼睛有三层膜，分别是外部的纤维层（巩膜和角膜）、中间的血管层（脉络膜）和内部的视网膜。由悬韧带连接到睫状体的晶状体把眼睛划分为前、后腔。充满房水的前腔进一步被虹膜划分为前、后房。虹膜是一块横膈肌，调节进入瞳孔的光线。玻璃体位于后腔对眼起结构支持的功能。眼睛的晶状体有弹性，对光的折射能力会随成像物体的远近而改变，从而使几乎任何距离物体的像准确聚焦在视网膜上。光受体（视锥细胞和视杆细胞）位于视网膜上（图 12-2-1）。常规眼睛检查可测试眼睛的折光性和其内在结构的功能。

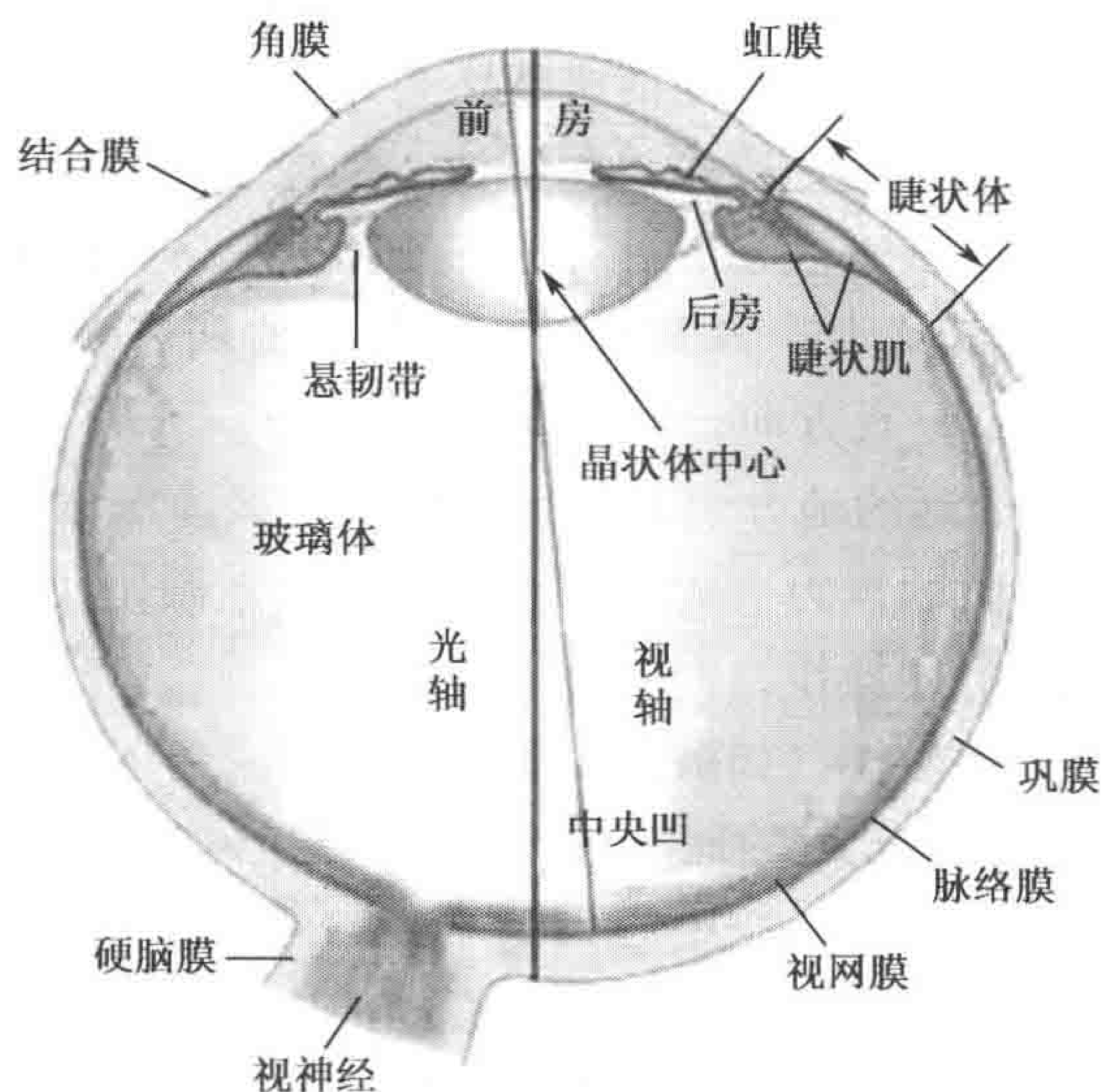


图 12-2-1 眼球结构图

【材料】

1. 视力表和散光视力表。
2. 金属丝网和米尺。
3. 检眼镜。
4. 台灯。
5. 有红、黄、蓝色正方形的大黑纸或纸板。

【方法与步骤】

1. 折光性：测试视敏度（视力）和散光

光线从空气进入密度更大的介质会发生折射，此时光线的传导率减慢。视野区的物体发出的光线被角膜、房水、晶状体和玻璃体折射后，聚集在视网膜上，形成一个颠倒且左右相反的像。

角膜和房水的折光度是恒定的，而晶状体的折光度可变。晶状体凸起的程度越大，其折光度越强。晶状体的折光强度用屈光度来表示。当物体在 6m 或更远时，正常眼睛折光能力是 67 屈光度。

$$屈光度=\frac{1}{焦距（m）}$$

视野内来自两个邻近点的光线可完美的聚焦在视网膜上，这两个点可以清晰的分辨出。而当光线聚焦在视网膜之前或之后时，这两个点就会模糊。此时，必须通过调整眼睛和物体的距离或者戴上矫正的镜片来改变折光度。

当一个较远（6m 以上）的物体在眼睛上形成的像在视网膜之前，这种现象叫做近视。近视是由于眼球被拉长了（从晶状体到视网膜的距离增大），需要戴上凹透镜片调整。相反，物体的像出现在视网膜之后是远视。需要增加折光度，要戴上凸透镜片。正常的视力敏锐度叫做正视眼。临床上往往使用视力表来测试视力。

散光是由于角膜或晶状体的曲率异常或者它们的表面不规则而引起。因为异常，水平方向的光线折射率不等同于垂直方向的光线折射率。因此，平行光线进入眼内不能在视网膜上形成焦点，而形成焦线，造成视物不清或物像变形。纠正散光可用柱面镜。

纠正镜片的强度用屈光度来表示，在数值前加正号（远视用凸透镜，如＋14 屈光度）或负号（近视用凹透镜，如－5 屈光度）。散光的纠正显示柱面镜的度数（如，＋2）和所在的角度（90°指垂直方向，180°指水平方向）。

（1）站在离视力表 6m 远的地方。遮住一只眼，尝试读出你所能看清的最小的一行字。走到表前确定你的眼睛的视力（如戴有眼镜，则摘下眼镜）。

（2）用另一只眼重复上述操作。

（3）戴上眼镜重复上述操作（如戴有眼镜）。

（4）站在离散光视力表 6m 远的地方，遮住一只眼（如戴有眼镜的话，摘下眼镜）。这个表由很多黑线组成，它们是一个中心点的半径，很像车轮的辐条。如有散光的话，一些辐条将显示清晰的黑色，而另一些将显示模糊的明亮，因为它们形成的焦点或在视网膜前或在视网膜后。依旧遮上同一只眼睛，缓慢走到表前，同时观察辐条。

（5）用另一只眼重复上述操作。

（6）戴上眼镜重复上述操作（如戴有眼镜）。

（7）为了检验你的镜片已经纠正了散光，可以把镜片放在脸前，站在 3m 远的地方，把镜片旋转 90°。在镜片旋转时，车轮的形状应该会改变。

2. 适应

如果晶状体的折光度保持不变，晶状体和焦点之间的距离（焦距）将随着物体向晶状体靠近而增大。例如，如果 6m 远物体的像聚焦在视网膜上（或者在照相机光感胶片上），那么 3m 远物体的像将聚焦在视网膜（或者在照相机光感胶片）之后而变得模糊。

照相机通过移动镜头使焦点聚焦在感光胶片上。而眼睛与照相机不同，因为视网膜和晶状体之间的距离不可改变。晶状体是有弹性的，通过改变悬韧带对它的拉力可以改变晶状体的凸起度；而睫状肌可以调节悬韧带的拉力。当睫状肌放松时，悬韧带牵拉晶状体，因此减弱其凸起度；远距离（大于 6m 远）的物体因此聚焦在视网膜上。通过收缩睫状肌可使近距离的物体聚焦在视网膜上。睫状肌的收缩减弱了悬韧带的拉力，从而增大晶状体的凸起度。眼睛的这种改变不同距离的物体在视网膜上成像焦点的能力叫做调节。

正常晶状体的凸起度能从 67 屈光度（远处视力，凸起最小）调节到 79 屈光度（近处视力，凸起最大）。晶状体的弹性和凸起度会随年龄增大而减弱，这叫做老花眼。通过测量近点，可以测试晶状体的弹性。近点指眼能看清物质的最近距离。近点随年龄而改变，10 岁儿童的平均近点约为 8cm，70 岁老人的平均近点约为 100cm。近点可通过双焦点透镜来纠正，其含有两个不同折光度的透镜。

（1）将一张边长大约为 25cm 的正方形铁丝网放在你的眼前，透过它观察远处的物体。

（2）瞬时闭上双眼后，睁开双眼并记录铁丝网或远处物体是否清晰。

（3）重复上述步骤，将眼睛的焦点聚焦在铁丝网上之后才睁开眼。

（4）为了测量近点，将米尺的一端放在一只眼睛下，向外延长。将一根大头针放在离眼睛有一只胳膊的距离，逐渐将大头针朝眼睛移动。

（5）记录大头针首次出现模糊或重影时的距离。

（6）重复上述步骤，测定另一只眼睛的近点。

3. 眼睛的外部肌肉和眼震颤

眼睛由六块外部肌肉支配。这些肌肉使眼睛跟着物体移动而移动，从而使物体的像一直保持在视网膜上的同一位点上，这些肌肉也使每只眼睛的视野维持正确的中央交叉量。两只眼睛的视野中央是交叉的，而每只眼睛的视野两侧区是不同的，这种视网膜不均等性有利于三维视觉和深度知觉。当眼睛靠近物体时，视野的交叉和视网膜不均等性靠眼睛向中央运动来维持，这种现象叫会聚。

眼睛拮抗肌正常情况下保持眼睛在中线位置。如果肌肉或神经损伤，肌肉的紧张能力减弱，眼睛会缓慢漂移到一个方向，紧接着迅速移回原来的位置，这种现象叫做眼震颤。

作眼睛肌肉的典型检查时，要求对象的眼睛盯着一个物体，随物体的上下移动而移动。眼睛连续的摆动（在一个方向呈缓慢状态，而在相反的方向呈快速状态）暗示眼震颤的出现。眼睛不能外移暗示外展神经或侧直肌损伤。当眼睛内移时不能将眼睛下移，暗示滑车神经或上倾肌损伤。眼睛移动方面的所有其他缺陷可能是因为眼球运动神经或相关特殊神经的损伤。

（1）观察视网膜不均等性：闭上一只眼睛，将铅笔在脸前举起，然后迅速换眼，记下铅笔的位点。

（2）观察眼睛会聚：要求测试对象将焦点集中在铅笔的末端，将铅笔缓慢从脸前 60cm 距离的地方移到鼻梁，以此观察聚焦能力。记录此过程中瞳孔直径的变化。

（3）观察眼睛的移动和记录眼震颤的出现或消失：将一支铅笔放在远离测试对象鼻梁 60cm 的地方。将铅笔左移，右移，然后上移和下移，保持铅笔在每个方向至少 10s。

4. 瞳孔对光反射

通过调节瞳孔的大小可以调节进入眼睛的光线量。瞳孔由虹膜包围。虹膜由两组行使相反作用的平滑肌所组成。当周围环境明亮时，瞳孔变小，使进入眼内的光线减少；而当周围环境较暗时，瞳孔变大，进入眼内的光线增加。瞳孔大小随光照而变化的反应，由神经控制，叫做瞳孔对光反射。

(1) 将测试对象带到一间黑暗的房间内至少 1min，让测试对象的眼睛调节到适应昏暗的光线，这种调节叫做暗适应。

(2) 用一束窄光从右边照射测试对象的右眼，观察其右边的瞳孔对光反射，同时也能观察到左眼的瞳孔对光反射，这叫做互感性对光反射。

(3) 从左眼开始重复此步骤。

5. 盲点

视网膜含有两类光感受器细胞：视锥细胞和视杆细胞。它们和不同的细胞（双极神经元）形成突触联系，双极神经元又与神经节细胞形成突触，而神经节细胞的轴突形成视神经，将感觉信息传到大脑。在中央凹，一个视锥细胞和一个双极神经元形成突触联系，而多个视杆细胞和一个双极神经元形成突触联系。视杆细胞对弱光更敏感；而视锥细胞对强光更敏感，但有更大的视敏度。视杆细胞用于暗处视物，视锥细胞用于明处视物。视锥细胞也用于显示物体的颜色。因此在白天可看见彩色，而在晚上只能看见白色和黑色。

视网膜内的所有神经节的轴突聚焦在视盘内形成视神经，也叫做盲点，因为视盘内没有视锥细胞和视杆细胞。因此，如果一个物体的像聚焦于盲点的话，将看不到这个物体。

(1) 遮上左眼，将圆圈和十字形图案放在离脸大约有 6m 的地方。将焦点聚焦在圆圈上。

(2) 保持焦点在圆圈上，缓慢将脸靠近圆圈，直到看不到十字形图案。继续将脸靠近圆圈，直到十字形图案再次出现。

(3) 遮上右眼重复上述操作，左眼的焦点聚焦在十字形图案上，把脸靠近十字形时，观察圆圈的消失和再次出现。

6. 后像

光线照射到眼睛中的感受器，诱发一种光化学反应：视杆细胞内的视紫红质分解成视黄醛和视蛋白。这种化学分解使光感受器产生电变化，在视觉神经轴突上触发一连串动作电位。只有当视杆细胞内的视紫红质再生后，这个视杆细胞才能再次产生对光反应，视紫红质的再生需要一定的时间。眼睛在正常视物时，视紫红质的分解（漂白）和合成达到某种动态平衡，这种平衡受周围环境光线强度的影响：光线越暗，合成越强于分解，视网膜上未分解的视紫红质浓度越高，对弱光越敏感。光对视紫红质的漂白过程见图 12-2-2。

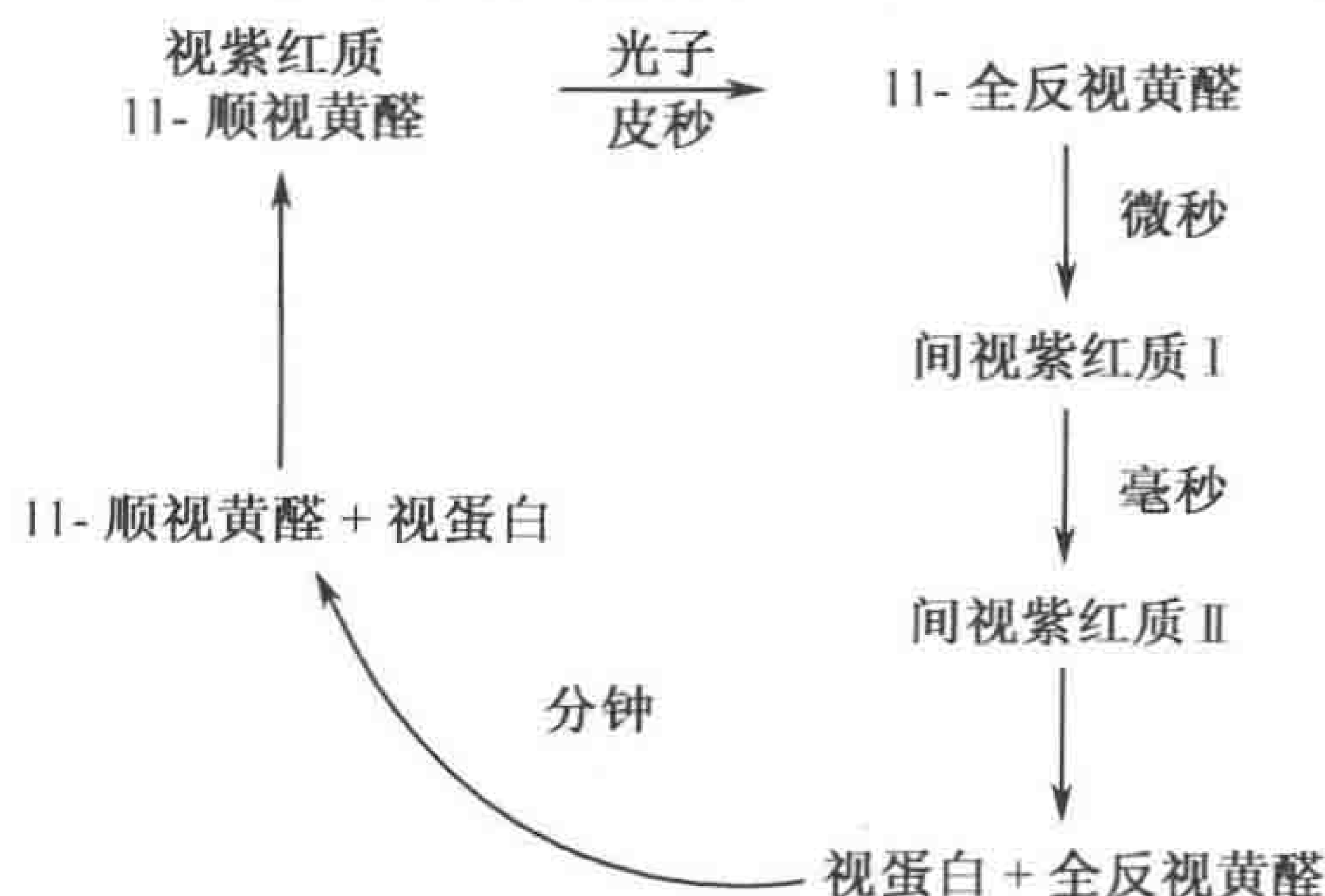


图 12-2-2 光对视紫红质的漂白

当眼已经适应亮光，例如电灯泡，闭上

眼或者迅速转向墙壁时，电灯泡的明像（bright image）仍然可见，这种现象叫做正后像，是由光感受器的继续放电所引起；在一段短时间后，将出现电灯泡的暗像（dark image），这种现象叫做负后像，这是由于光感受器的视色素分解所引起的。

色觉的“三原色学说”认为，有三个视锥细胞系统分别对红、绿、蓝三色起反应，其他所有颜色是由大脑综合上述三个系统的信号后而得到的。如果其中一个系统受损（色盲），或者长时间注视一个物体使得其中一个系统出现漂白的情况时，颜色的辨别能力也将下降。在后一种情况中，物体的正后像将在对比色中出现。

（1）凝视一个电灯泡，然后突然将脸转向空白的墙壁，观察负后像的出现。

（2）凝视一个小红色正方形的中央小点，正方形黏在一块较大的黑纸板上。凝视1min。突然转向凝视一块白纸板并记录正后像的颜色。

（3）用蓝色正方形和黄色正方形分别重复上述操作。

【注意事项】

在进行不同实验时，要给受试者留有一定的休息时间，避免由于眼睛过于疲劳而影响实验结果。

【思考题】

1. 描述如何调控晶状体曲率，使用这些信息来解释当一个远物向眼睛靠近时，它的像如何持续出现在视网膜上。

2. 描述虹膜的肌肉层和这些肌肉层的神经支配。使用这些信息来解释瞳孔如何在强光时缩小，而在暗光时变大。

实验 12-3　耳蜗和听觉

【目的要求】

1. 了解中耳的结构并解释听小骨的功能。

2. 了解内耳的结构并解释耳蜗的功能。

3. 进行 Rinne 测试和 Weber 测试，并理解它们各自的意义。

4. 了解如何辨别声音的方向。

【原理】

声音从外耳传到鼓膜，引起鼓膜振动。鼓膜振动引起中耳的三块听小骨——锤骨、砧骨和镫骨的振动，三块听小骨的一连串运动使镫骨底在卵圆窗上来回摆动，卵圆窗的振动在内耳的耳蜗内产生压缩波。图 12-3-1 为耳的结构。

压缩波使耳蜗内的基底膜振动。基底膜上有感觉性的毛细胞。振动到来时，毛细胞向上摆动进入盖膜。毛细胞的扭曲诱发一连串的动作电位，沿着神经传到大脑。毛细胞在基底膜上的位置决定了特定的音调，而毛细胞动作电位的频率决定了特定的响度（图 12-3-2）。

声音从中耳传到内耳，其内的耳蜗导致神经冲动的产生。对中耳（传导性的）和内耳（感觉性的）功能的临床测试有助于诊断听觉障碍。

【材料】

音叉、橡胶槌。

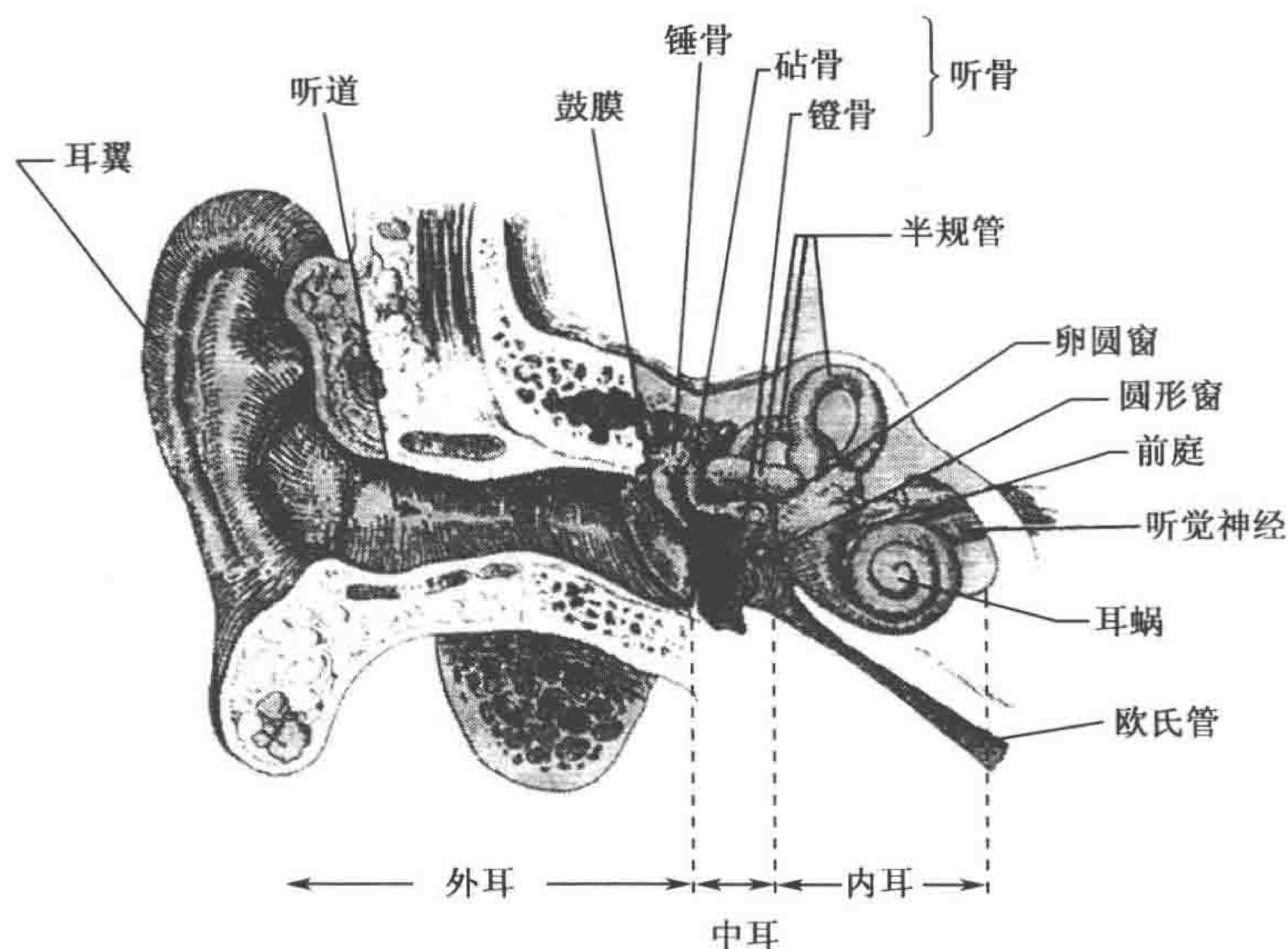


图 12-3-1　耳的结构

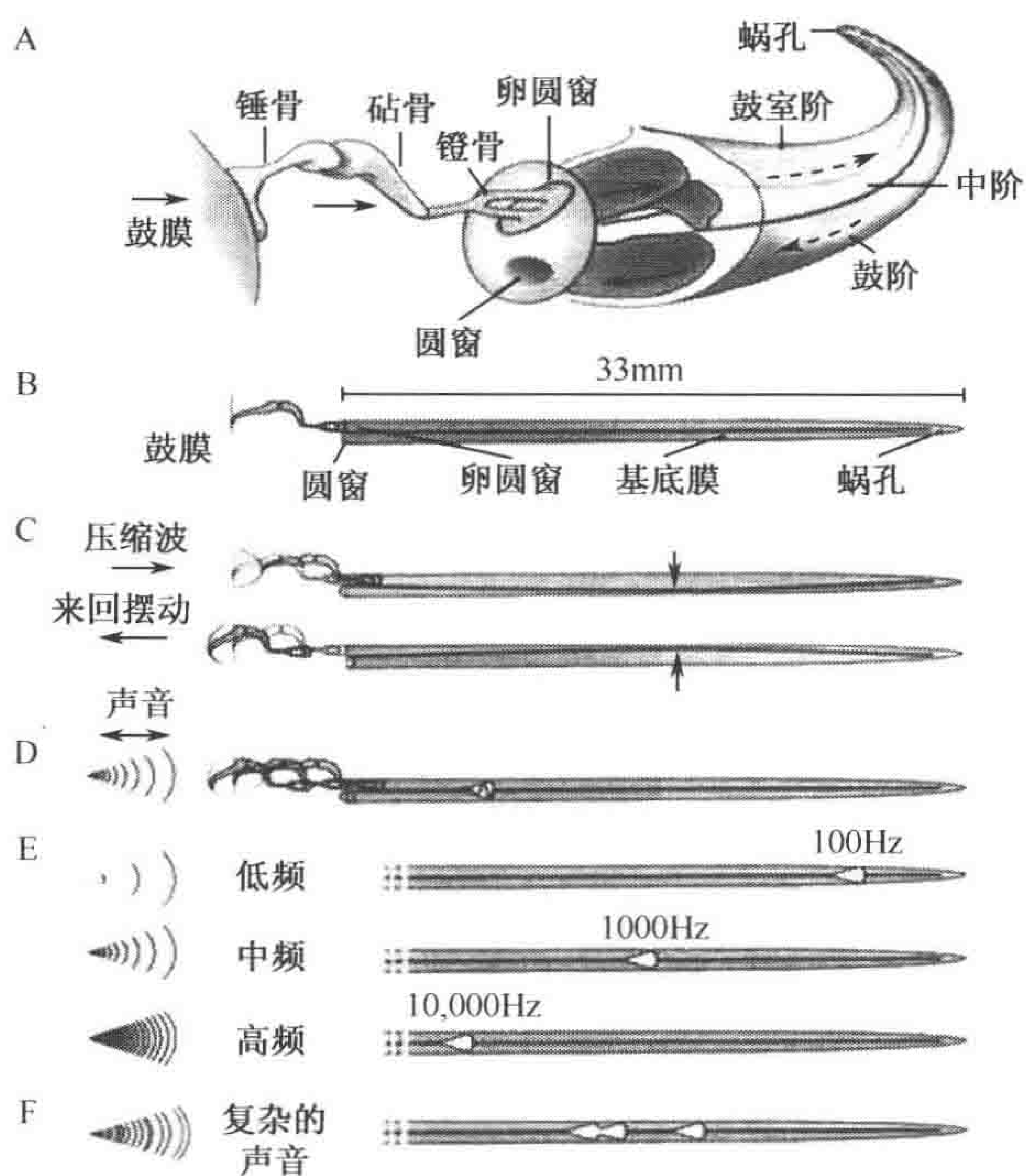


图 12-3-2　基底膜的振动

【方法与步骤】

1. 声波通过骨头的传导：Rinne 测试和 Weber 测试

尽管听觉的正常产生是由于声波通过中耳听小骨的摆动导致卵圆窗的振动，但是声波也可以直接通过头骨导致耳蜗的内淋巴液振动，从而绕过了中耳。因此，本测试可区

分中耳损伤引起的耳聋（传导性耳聋）以及耳蜗或者前庭脊髓束神经损伤引起的耳聋（感觉性耳聋）。

Rinne 测试

（1）用橡胶槌敲打音叉，产生振动。

（2）进行 Rinne 测试：将振动的音叉柄靠在颞骨（耳后的骨状突起）的乳头状突起上。当声音几乎消失时，将音叉移到外耳道的附近。如果中耳无损伤的话，声音将会重现。

（3）将棉花塞进耳朵内，再次用 Rinne 测试模仿传导性耳聋。在传导性耳聋，通过骨头（乳状突起）传导比通过空气传导更有效。

Weber 测试

（1）进行 Weber 测试：将振动的音叉柄放在头部中线之上，倾听。在传导性耳聋，声音在受损的耳朵似乎更响（外部空间噪声排除而骨头传导继续）；在感觉性耳聋，耳蜗受损了，因而声音在正常的耳朵中更响。

（2）将手指塞进你的一只耳朵，重复 Weber 测试。声音在塞住的耳朵中更响，因为外部空间噪声被排除了。

2. 声音的立体定位

正如立体视觉提供了三维视物的立体感，立体听觉有助于定位声音（人有着立体视觉和立体听觉）。定位声音的能力部分依赖于到达两耳的声音响度的差异和声音到达两耳的时间差异。响度差异对于高音调的声音来说更重要，到达时间的差异对于低音调的声音来说更重要。

（1）使测试对象闭上双眼，要求其定位声音的方向来源（例如，振动的音叉）。

（2）将振动的音叉放在各种方位（离测试对象一个脚掌距离的前方、后方、两侧），要求测试对象说出音叉的位置。

（3）堵上一只耳朵后，重复上述操作。

【注意事项】

整个实验过程要保持安静，避免背景噪声的干扰。

【思考题】

1. 按顺序描述从声音到达鼓膜和产生神经冲动过程中的事件。

2. 解释声音的不同音调如何影响基底膜，及其与传到大脑的信息之间的相互关系。

3. 解释对耳硬化症病人进行 Rinne 测试和 Weber 测试所获得的结果。如何比较这些结果和从感觉性耳聋病人获得的结果？试解释之。

实验 12-4　前庭器官——平衡

【目的要求】

1. 掌握半规管的结构并理解头部的移动如何导致神经冲动的产生。

2. 了解前庭的眼震颤及其机制。

【原理】

前庭器官位于内耳的耳蜗上，有三个半规管（三维定向）、椭圆囊和球囊（图

12-4-1）。椭圆囊和球囊合称耳石，提供直线加速的感觉。这些结构和内耳一样充满内淋巴液，含有弯曲激活的感觉毛细胞。这些感觉性的毛细胞支持无数的头发样的延伸物，这些头发样的延伸物嵌入黏性的壶腹帽内，壶腹帽投射进内淋巴液。加速或减速诱导内淋巴液的移动使毛细胞的延伸物弯曲，从而产生一连串的动作电位传到大脑。椭圆囊和球囊的毛细胞在定位头部方向起作用，这与地心引力相关。

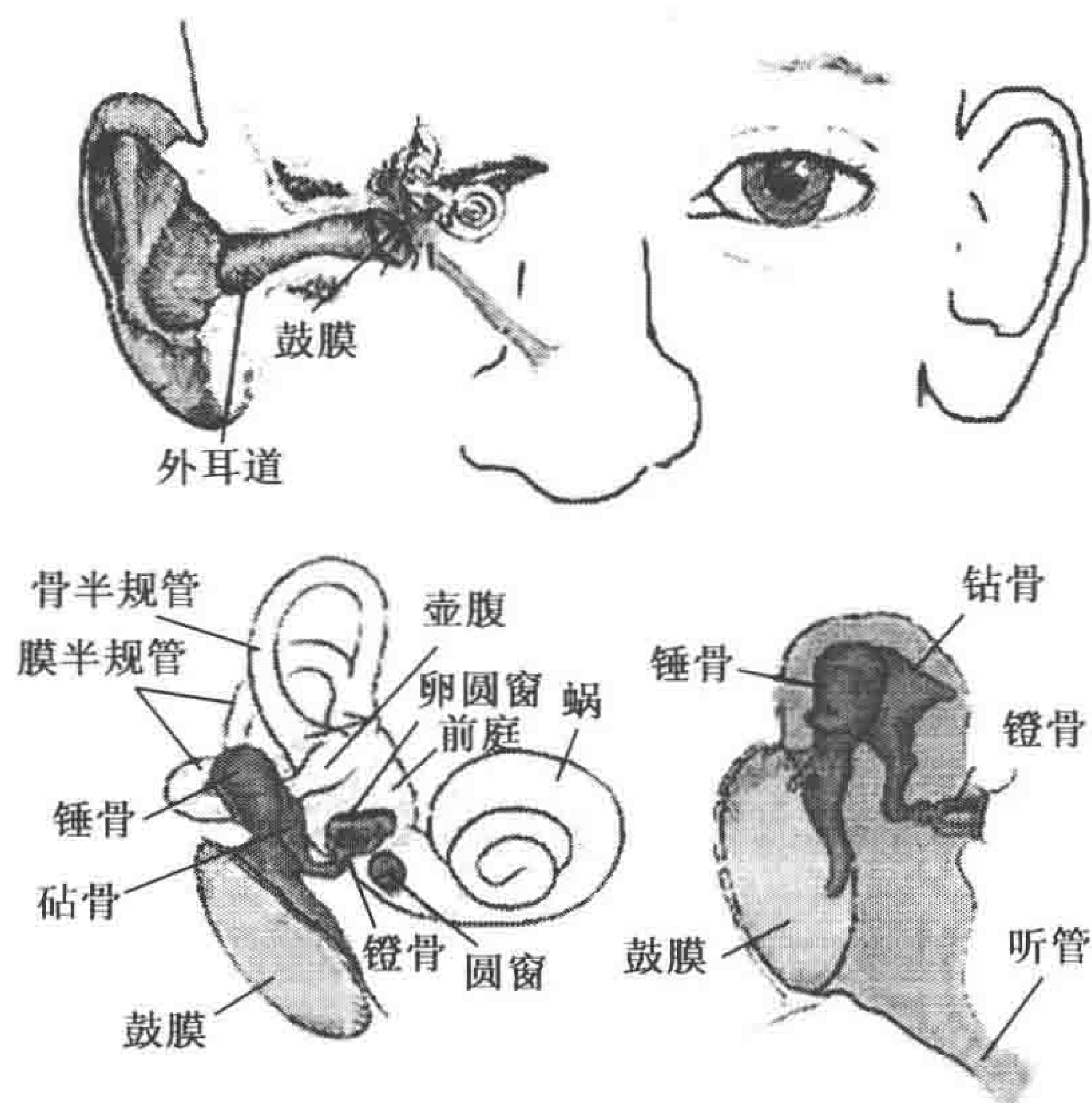


图 12-4-1　前庭器官示意图

前庭器官的传入冲动使我们意识到我们所在的空间位置，影响大量的躯体运动神经。出现强烈的前庭活动时，也可能刺激自主神经，产生自主性反应，包括呕吐、排汗和低血压。

前庭器官提供平衡觉。由于惯性对前庭器官内结构的作用，头部位置的改变会导致传入神经冲动的产生，通过神经纤维传到大脑。这种信息导致眼睛的移动以及其他有助于确定身体在空间位置的行为的产生。

【材料】

旋转椅。

【方法与步骤】

本实验通过产生自主性的眼震颤——前庭眼震颤，测试前庭活动对眼外部肌肉的影响。

旋转测试对象可刺激半规管。将头部向前弯曲成 30°，几乎触到胸膛时可以刺激外半规管。当测试对象开始向右旋转时，壶腹帽将向左弯曲，这是因为内淋巴液的惯性滞留作用。这时引起了眼震颤：眼睛缓慢地向左漂移，紧接着迅速地向右移动（中线位置）。眼震颤一直持续，直到克服内淋巴液的惯性以及壶腹帽恢复到起始弯曲的位置。此时，内淋巴液和壶腹帽同时、同速地向同一个方向移动。当测试对象的旋转突然停止时，内淋巴液的惯性作用使得壶腹帽向先前旋转的方向弯曲（向右），产生眼震颤：一个缓慢的向右漂移相和一个迅速向左移动相。这种前庭器官活动往往伴随着眩晕（一种移动或旋转的幻觉）和向右跌倒的趋势。

1. 使测试对象坐在旋转椅上，张开双眼，头部向前倾斜到 30°（下巴几乎接触胸

膛)。迅速向右旋转椅子，持续 20s。记录起始眼震颤后，要求测试对象闭上双眼。

注意：测试对象必须没有运动病。如果测试对象感到不舒服，马上停止实验。

2. 突然停止椅子，要求测试对象尽可能大的张开双眼。记录眼震颤的方向（从左到右或从右到左)。

3. 重复上述步骤（用不同的测试对象)，将头交替地放在右肩膀和左肩膀上（刺激上半规管)，记录旋转后眼震颤的方向。

【注意事项】

实验过程中，密切关注受试者的反应，如一发现受试者感到不适，则立即中断实验。

【思考题】

1. 描述术语惯性的含义，解释它如何在加速或减速过程中影响内耳的毛细胞。

2. 用全部相关的解剖学结构来解释我们如何感觉到椅子的旋转。当椅子突然停止时，会发生什么事?

3. 翻筋斗会激活内耳的哪些结构? 侧手翻筋斗呢? 在赛车内迅速加速呢?

实验 12-5　味　　觉

【目的要求】

1. 了解味蕾的结构和在舌上的位置。

2. 列出四种最主要的味觉类型，了解它们在舌上的分布。

【原理 】

味蕾由特殊的上皮细胞组成，上皮细胞构成水桶状的感受器形状，和感觉（传入）神经相连。长的微绒毛通过毛孔延伸到味蕾的外表面，和唾液相接触（图 12-5-1)。味觉感受器细胞能发生去极化，释放神经递质，因而刺激与大脑相连的相关感觉神经元。在成年人，味觉感受器主要位于舌头表面（图 12-5-2)，在软上腭和会厌的数量较少。儿童味觉更为分散，在脸颊的内侧也有感受器。

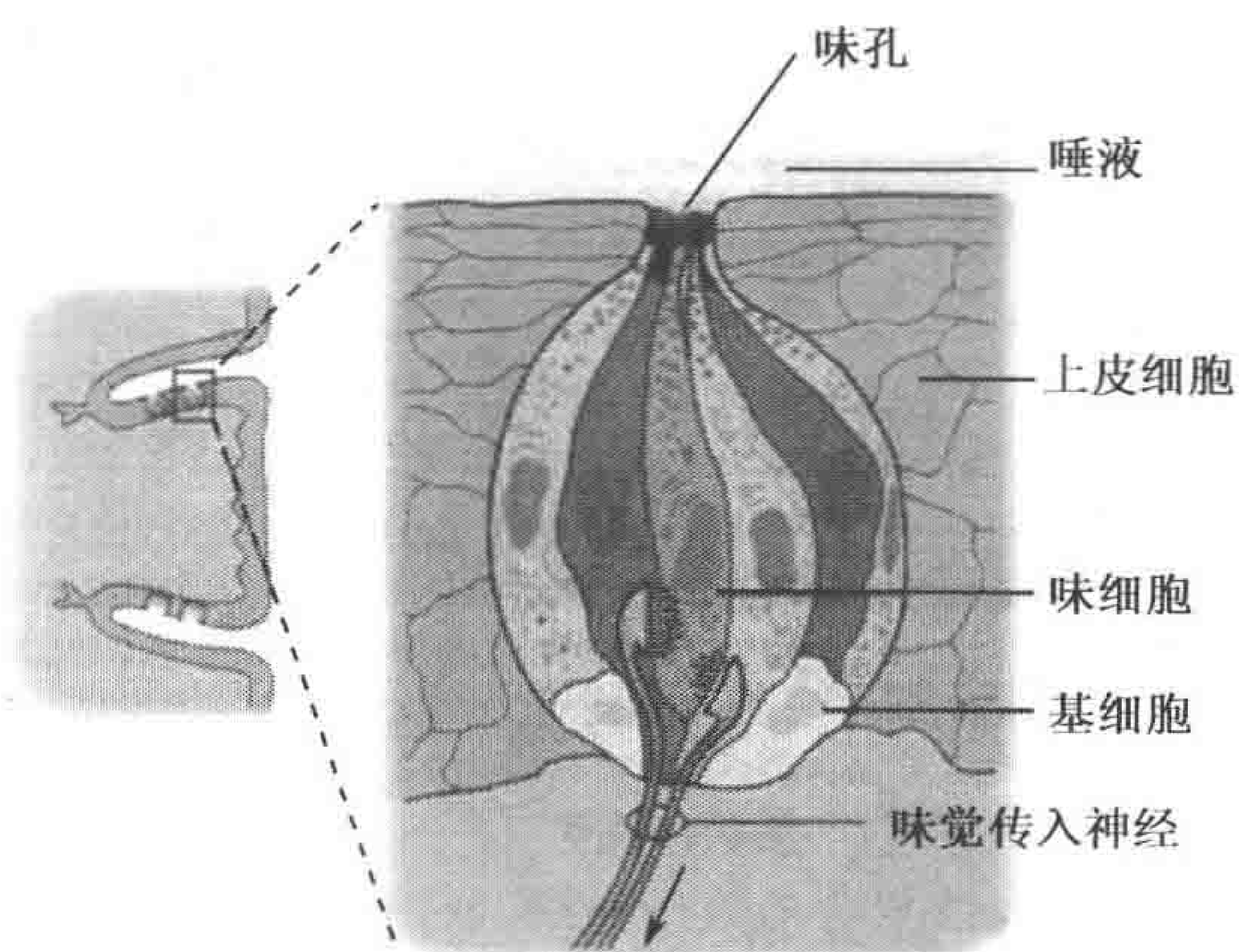


图 12-5-1　味蕾的形态

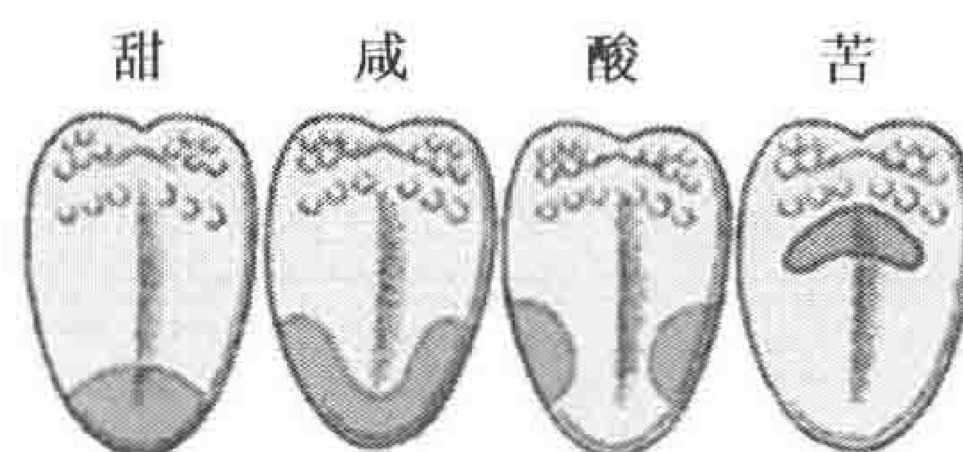


图 12-5-2　舌的味觉分布

味觉是由甜、酸、苦和咸四种基本不同的味觉所组成，和嗅觉有细微的差别。尽管一个味蕾能被所有类型的味觉刺激物所刺激，但是不同的味蕾对不同刺激敏感度不同。甜味刺激在舌尖可能是最容易察觉，而苦味在舌背，酸味在舌侧，咸味覆盖舌头大部分区域。然而现在越来越多的研究对这种味觉感受器分布图提出了疑问。

不同的味觉感受器其跨膜转导机制也不同。酸味溶液主要是酸或 H^+ 溶液，咸味溶液主要是 Na^+ 溶液；而苦味和甜味的主要刺激成分还不清楚，因为很多似乎不相关的物质也能产生苦味或甜味。图 12-5-3 形象地描述了咸、酸、苦、甜的不同跨膜转导机制。

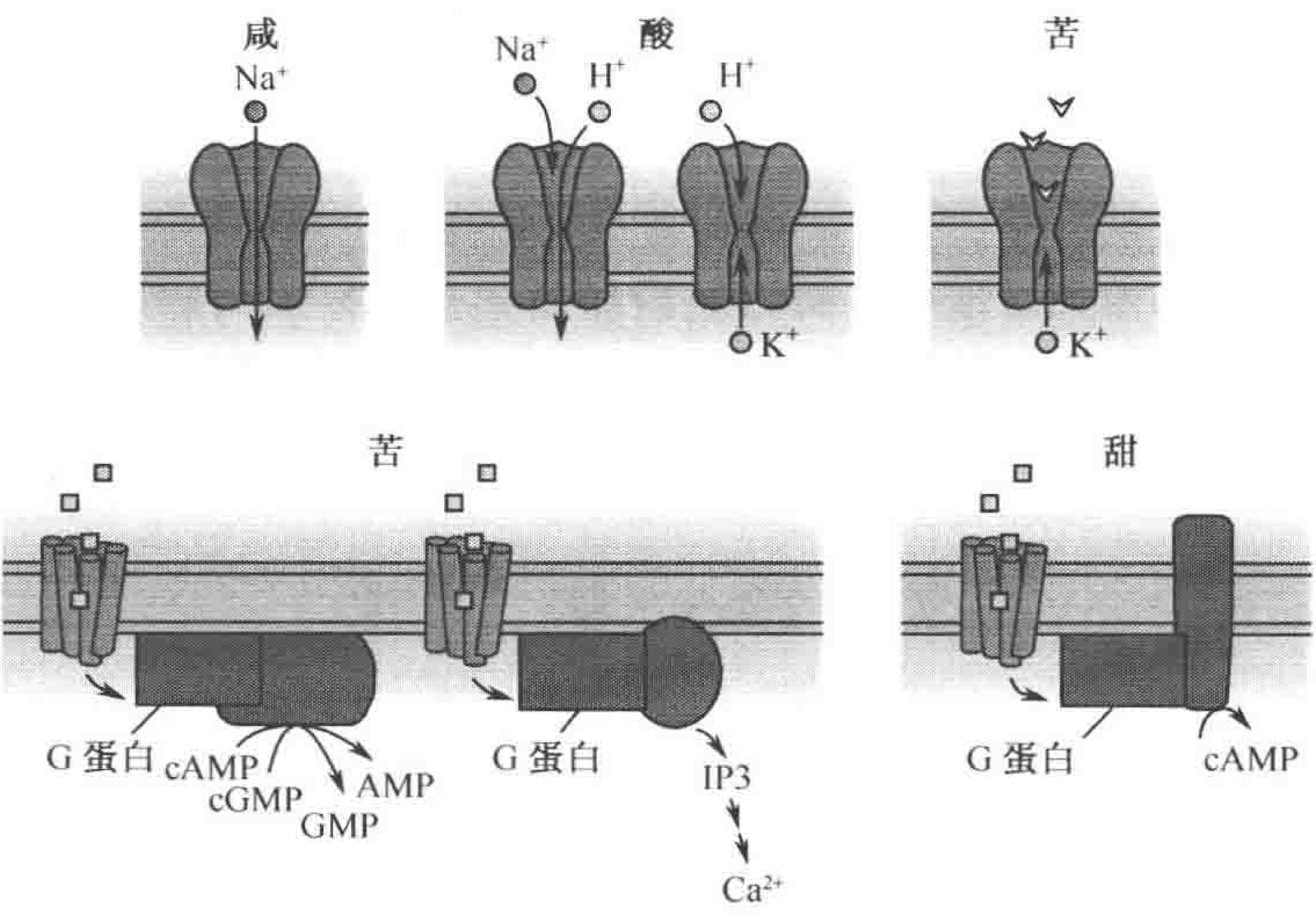


图 12-5-3 味觉转导的膜机制

从味蕾到大脑的传入通路主要涉及两种脑神经。在舌头前 2/3 区域的味蕾和面神经相联系，而舌头后 1/3 区域的味蕾和舌咽神经相联系。迷走神经与会厌也有着一定程度的联

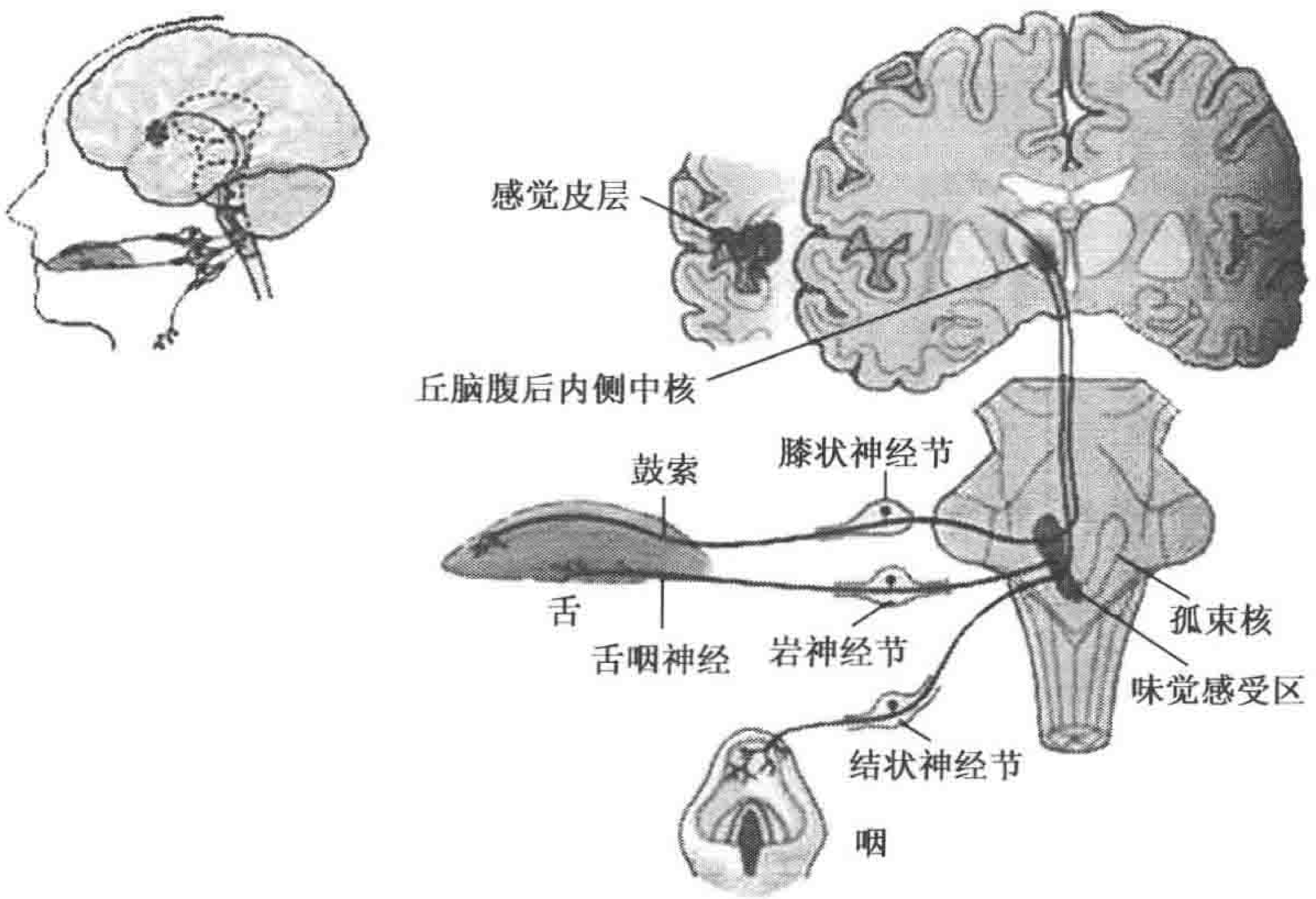


图 12-5-4 味觉的神经支配

系。刺激味蕾产生的神经冲动通过丘脑到达大脑皮层的中央后回。从味蕾到大脑的传入通路是同侧的（沿着头部的同侧），和大多数的感觉传导束（对侧）相反（图 12-5-4）。

【材料】

1. 棉签。

2. 5%蔗糖溶液、1%醋酸溶液、5%NaCl 溶液、0.5%奎宁硫酸盐溶液。

【方法与步骤】

有四种类型的味觉：甜、酸、苦和咸。对不同类型味觉敏感的味蕾在舌头有不同的分布位点。因此，在舌头的一个特定区域中，有一种味觉的敏感度最大。

1. 用纸巾干燥舌头，用棉签蘸一点 5%蔗糖溶液接触舌尖、舌侧和舌背。

2. 分别用 1%醋酸溶液、5%NaCl 溶液、0.5%奎宁硫酸盐溶液重复上述操作，在换液过程中必须漱洗牙齿和干燥舌头。

注意：最后使用奎宁硫酸盐溶液，因为它的效果很显著且效果持续很久。

3. 记录对每一种溶液有刺激的位点，绘制味觉分布图，用 sw 表示甜、sl 表示咸、sr 表示酸、b 表示苦。

【注意事项】

涂抹溶液要均一，换液过程中必须漱口彻底，并干燥舌头，以免不同类型的味觉感受相互干扰。

【思考题】

1. 化学感觉这个术语是什么意思？解释嗅觉和味觉是如何相互作用的。

2. 使用传统的味觉图或你在本实验所获得的味觉图来确定损伤舌咽神经对哪种味觉影响最大。损伤面部神经对哪种味觉影响最大。

3. 据说人类能区别 10 000 种不同的气味。因此，你是否认为我们有 10 000 种不同的感受器，每种感受器对应一种不同的气味？为什么？请解释区分如此多不同气味的其他机制。

第十三章　内分泌与生殖

腺体是由腺体上皮向下面的结缔组织内陷衍生而成的成簇分泌细胞。当内陷持续进行时，就形成了一条从分泌细胞延伸到上皮表面并通到腺体外的导管。分泌物经导管运输到体表或体内的某些管腔，这种腺体叫做外分泌腺，包括皮脂腺、汗腺、乳腺、唾液腺和胰腺。如果腺体的分泌物进入血液并随血液循环送到全身，这类腺体叫做内分泌腺。内分泌腺的分泌物即是激素，它具有调节人体的新陈代谢、生长发育和生殖等重要功能。内分泌系统可分为两类：①内分泌腺（器官），如垂体、甲状腺、甲状旁腺、肾上腺、性腺、胰岛、胸腺和松果体等；②内分泌组织或内分泌细胞，如胃肠道黏膜、脑、心、肺、肾等处分散的内分泌组织或内分泌细胞（图 13-0-1）。

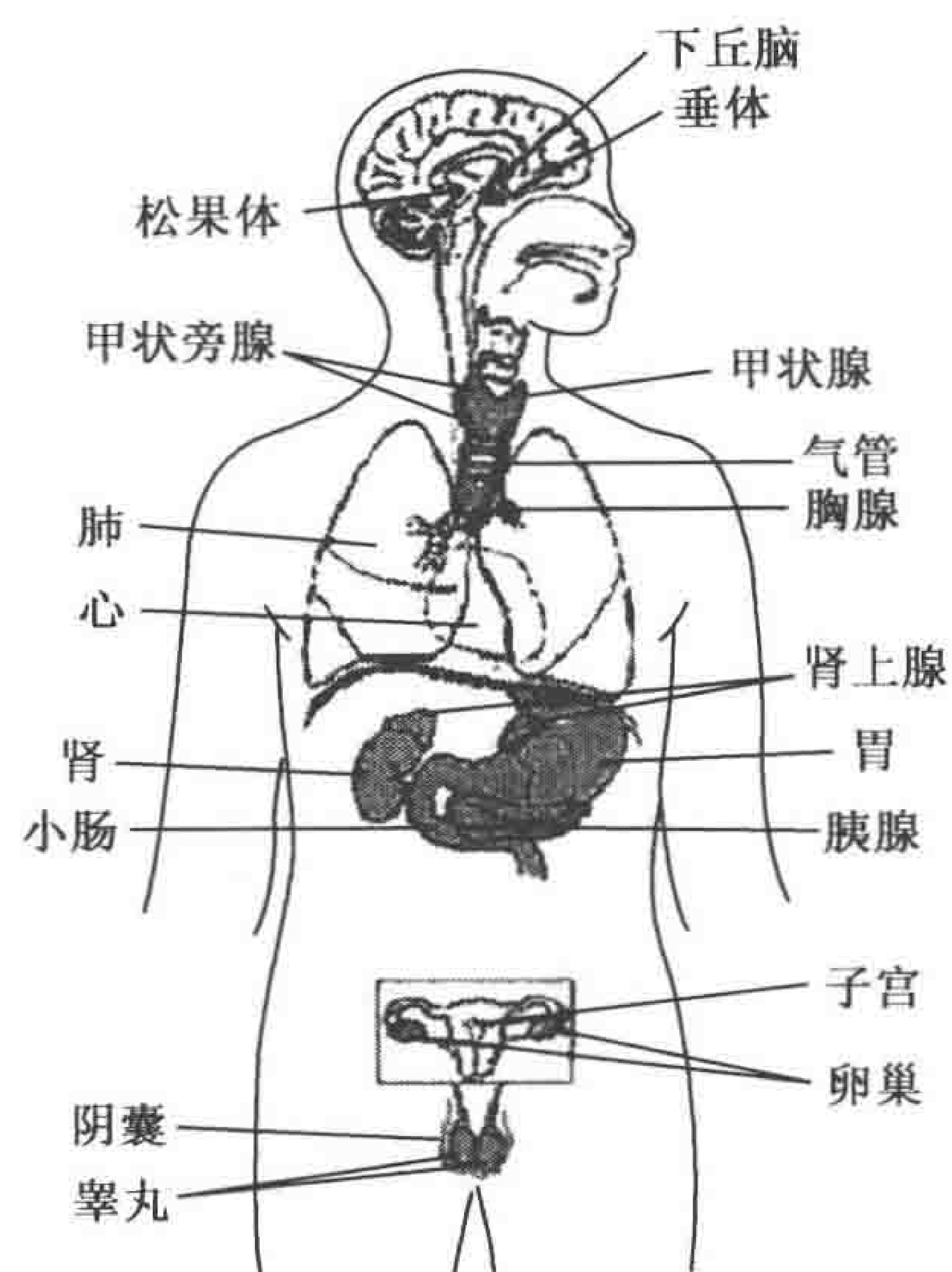


图 13-0-1　内分泌腺的形态位置

内分泌腺分泌的激素能调控其他器官的行为。内分泌系统补偿了神经系统的调控，能对靶器官和细胞的新陈代谢进行调控。激素通过调控靶细胞胞内酶的活动来调控全身的新陈代谢和生殖系统的功能（表 13-0-1）。

表 13-0-1　主要的内分泌腺及功能

内分泌腺	激素	靶器官	首要作用
脂肪组织 adipose tissue	瘦素 leptin	下丘脑 hypothalamus	抑制食欲
肾上腺皮质 adrenal cortex	糖皮质激素 glucocorticoid	肝脏和肌肉 liver and muscle	影响糖代谢
	醛固酮 aldosterone	肾脏 kidney	保钠排钾
肾上腺髓质 adrenal medulla	肾上腺素 epinephrine	心肌和血管 heart and blood vessel	引起肾上腺素能刺激
心脏 heart	心房利钠素 atrial natriuretic hormone	肾脏 kidney	促进尿钠的排出
下丘脑 hypothalamus	促释放和抑制激素 releasing and inhibiting hormone	垂体前叶 anterior pituitary	调节垂体前叶激素的分泌
小肠 small intestine	肠促胰液素和胆囊收缩素 secretin and cholecystokinin	胃、肝脏和胰腺 stomach，liver，and pancreas	抑制胃的运动，刺激胆汁和胰液的分泌

续表

内分泌腺	激素	靶器官	首要作用
胰岛 islet of Langerhans	胰岛素 insulin 胰高血糖素 glucagon	多种器官 many organ 肝脏和脂肪组织 Liver and adipose tissue	促进细胞摄取葡萄糖及糖原、脂肪的形成 刺激糖原和脂肪的分解
肾脏 kidney	促红细胞生成素 erythropoietin	骨髓 bone marrow	刺激红细胞的生成
肝脏 liver	生长调节素 somatomedins	软骨 cartilage	刺激细胞分裂和生长
卵巢 ovaries	雌二醇和孕酮 estradiol progesterone	雌性生殖道和乳腺 female reproductive tract and mammary gland	维持生殖道结构和促进第二性征发育
甲状旁腺 parathyroid gland	甲状旁腺素 parathyroid hormone	骨、小肠和肾 bone，small intestine，and kidney	增加血液中 Ca^{2+} 浓度
松果体 pineal gland	褪黑激素 melatonin	下丘脑和垂体前叶 hypothalamus and anterior pituitary	影响促性腺激素的分泌
垂体前叶 pituitary anterior	促激素 trophic hormone	内分泌腺和其他器官 endocrine glands and other organ	刺激靶器官的生长发育，促进其他激素的分泌
垂体后叶 pituitary posterior	抗利尿激素 antiuretic hormone 催产素 oxytocin	肾脏和血管 kidneys and blood vessel 子宫和乳腺 uterus and mammary gland	促进水的潴留和血管收缩 刺激子宫收缩和乳腺的分泌
皮肤 skin	1. 25 二羟维生素 D1 1. 25-dihydroxy vitamin D1	小肠 small intestine	刺激钙的吸收
胃 stomach	胃泌素 gastrin	胃 stomach	刺激胃酸的分泌
睾丸 testis	睾酮 testosterone	前列腺生殖管及其他器官 prostate seminal vesicle，and other organs	刺激第二性征的发育
胸腺 thymus	胸腺生成素 thymopoietin	淋巴结 lymph node	刺激白细胞生成
甲状腺 thyroid	甲状腺素和降钙素 thyroxine and calcitonin	大多种器官 most organs	促进生长发育、细胞代谢，而降钙素参与血钙水平的调节

1. 卵巢

卵巢是一种内分泌腺。而卵子则被认为是一种外分泌物，因为它离开卵巢后进入导管——输卵管。卵巢分泌的主要激素有雌激素和孕酮，它们直接分泌进入循环系统的血液中。在促性腺激素（FSH 和 LH）的作用下，卵泡发育成熟。在每一个周期，有一个

成熟的卵泡破裂，释放卵子（这个过程叫做排卵）。然后卵泡转化成一种新的内分泌结构——黄体。如果卵子没有受精，黄体复原，重新开始一个周期。

卵巢包含不同成熟周期的卵泡。而卵泡有：

卵子　是卵泡内最大的细胞。

颗粒细胞　是卵泡内大量的小细胞。

卵泡腔　是卵泡中央充满液体的腔。

卵丘　是颗粒细胞堆积而成的隆起。

放射冠　是一层围绕卵子的颗粒细胞层。

透明带　在卵泡的原生质膜和放射冠之间的含有糖蛋白的透明区域。

2. 睾丸

睾丸生成雄性生殖细胞和雄性激素。精子在生精小管（曲细精管）内生成后，被运输到附睾，接着进入输精管，然后汇集来自精囊和前列腺的液体形成精液，运输到射精管。睾丸内的间质细胞分泌雄性激素。这些激素大部分是睾酮。因为曲细精管是盘绕在一起的，所以看见它的纵切面的概率很小。大多数的曲细精管在横切面会或多或少地被切断，看到的是一个圆形或椭圆形的外观。

生精细胞　生精细胞形成了沿着管外壁的生殖上皮。这些细胞减数分裂后生成精子。最外层的细胞是二倍体，而朝向内腔的细胞进行减数分裂，因而是单倍体。在管上皮内，可见到不同时期的染色体。在管内腔内，往往可见精子的单倍体。

间质细胞　间质细胞位于曲细精管之间。

3. 胰岛

胰腺既有外分泌功能又有内分泌功能。外分泌物（胰液）是由腺泡所分泌。胰液含有消化酶和碳酸氢盐。胰液先流进胰管，接着流进十二指肠。

胰腺的内分泌物包括胰岛素和胰高血糖素，它们都是由胰岛分泌的。它们离开胰腺后进入血液循环。

腺泡　胰腺的腺泡是成簇的暗色的细胞，它们构成了胰腺的大部分区域。

叶内小管　因为它的体积大、管壁薄、形状扁平、不规则，和静脉相似，所以它可能会被误认为静脉。然而它和静脉的不同之处在于它的管壁由单层柱状上皮细胞所构成，内腔见不到红细胞。

胰岛　在低倍镜下，暗色腺泡构成的背景下，胰岛呈现出光亮的圆形斑块。在高倍镜下，α细胞（分泌胰高血糖素）和β细胞（分泌胰岛素）很容易区分。α细胞较小，含有粉红色的颗粒细胞，而β细胞较大，呈蓝色。

4. 肾上腺

肾上腺实际上是位于同一个器官内的两种不同的腺体。在低等生物，这些腺体是独立的；在高等生物（包括人类），这些腺体密切联系，分为肾上腺皮质（外层）和肾上腺髓质（内层）。

肾上腺皮质分泌皮质醇激素，这些激素包括调控盐平衡的激素（盐皮质激素）和调控葡萄糖代谢的激素（糖皮质激素）。肾上腺髓质分泌两种激素：肾上腺素和去甲肾上腺素，它们和交感神经协同作用，起增强心血管系统反应的功能。

被膜　是围绕腺体的一层薄而坚韧的结缔组织层。

球状带 是肾上腺皮质的外层；它的细胞紧密排列成不规则的形状。分泌盐皮质激素（主要是醛固酮和脱氧皮质酮）。这些激素的分泌受到血管紧张素Ⅱ的调控。

束状带 位于球状带的内层，是肾上腺皮质中最厚的一层，它们的细胞呈柱状排列。束状带细胞受到促肾上腺皮质激素（ACTH）的刺激时，分泌糖皮质激素。最重要的糖皮质激素是皮质醇和皮质酮。

网状带 是肾上腺皮质的最内层，也可以分泌少量的糖皮质激素。网状带的上皮细胞交织相连，因此这一层的染色比束状带深。

肾上腺髓质 它构成了肾上腺的中心区域，由紧密成簇的嗜铬细胞所组成，其染色比围绕它的网状带要亮。

5. 甲状腺

同卵巢一样，甲状腺的功能单位是腺泡。腺泡由单层的上皮细胞围成，腺泡腔内充满胶质。

腺泡分泌四碘甲腺原氨酸（T4）和三碘甲腺原氨酸（T3）。这些激素由腺泡的上皮细胞释放后，进入邻近的毛细管，它们是生长和代谢的重要调节物质。

甲状腺也含有腺泡旁细胞，它们分泌降钙素，可以调节血液中钙的浓度。

6. 脑垂体

垂体呈椭圆形，借漏斗与下丘脑相连，位于颅度蝶鞍的垂体窝内。垂体可分为腺垂体和神经垂体两部分。前者分泌生长激素促进身体生长，还分泌促激素，促进甲状腺、性腺等的发育和分泌作用。神经垂体分泌激素使血压升高，尿量减少，子宫平滑肌收缩等。

同肾上腺一样，脑垂体由两个截然不同的原基共同发育而成，分别是垂体前叶的腺垂体和垂体后叶的神经垂体。垂体前叶，也叫做腺垂体，来自拉司克囊。腺垂体分泌激素调控其他腺体，这些激素包括促肾上腺皮质激素（ACTH）（刺激肾上腺皮质）、促甲状腺素（刺激甲状腺）、促性腺激素（FSH 和 LH——卵泡刺激素和黄体生成素，刺激性腺）、催乳素（刺激乳腺）。此外，还分泌生长素（刺激儿童的成长）。

相反，垂体后叶，也叫做神经垂体，来自神经垂体芽，分泌两种激素：抗利尿激素（ADH）和催产素（OXT）。

腺垂体和神经垂体的激素分泌受到下丘脑的调控，ADH 和 OXT 是由下丘脑的视上核和室旁核神经元生成，经下丘脑一垂体束而贮存在神经垂体调控其分泌活动的激素。在适宜的刺激下，这两种激素由神经垂体释放进入血液循环。所以神经垂体简单地说是一个贮存器官。

腺垂体和下丘脑之间不存在直接的联系，它们是通过垂体门脉系统发生功能上的联系。垂体门脉系统有两级毛细血管网，下丘脑分泌的神经元释放进入第一级毛细血管网，然后运输到腺垂体的第二级毛细血管网。

实验 13-1　测定垂体激素对卵巢的影响

【目的要求】

了解垂体激素对卵巢的影响。

【原理】

垂体前叶激素（anterior pituitary hormones）又称为促性腺激素（gonadotropins），特别是促卵泡激素（follicle-stimulating hormone，FSH）和黄体激素（luteinizing，LH），调节雌性的卵巢周期。虽然两栖动物的正常排卵是季节性的，但是根据需要，大多数两栖动物可以通过注射垂体激素提取物来刺激其排卵。

【动物与器械】

雌性青蛙；一次性手套、注射器（规格：2mL）、20～25 的注射针、蛙垂体的提取物、生理盐水、装青蛙的广口瓶、泉水或池塘水、记号笔。

【方法与步骤】

1. 戴上手套，取两只雌性青蛙。

2. 检查蛙是否有卵子。用一只手抓住蛙，给它的腹部泄殖腔（腿的位置）施加压力。如果发生过排卵，在输卵管中的卵子将被排出，出现在泄殖腔的开口处。如果已排卵，则另换一只蛙。确保实验用的两只蛙没有排卵。如果没有排卵，继续实验。

3. 将蛙腹面朝上，用注射器抽取 1～2mL 垂体提取物，皮下注入蛙的前腹膜腔。在腹部低于 1/4 处，透过腹壁的皮肤和肌肉，插入针头。注意不要破坏到任何器官。用记号笔，在广口瓶上标明“实验”，将蛙放入其中。在有蛙的广口瓶中加些泉水或池塘水。

同样，在第二只蛙的腹膜腔中注入 1～2mL 生理盐水（确定两只动物注射的溶液体积相同），这只青蛙作为对照。将蛙放入广口瓶中，标明“对照”。将两只动物于安静条件下放置 24h。

4. 24h 后，检查每只蛙，查看是否排出卵子。如果没有卵子，第二天同一时间再次检查（即注射后 48h）。

5. 实验完成后处理青蛙，整理实验室。

【注意事项】

首先要分辨出雌性青蛙或蟾蜍，再次要选择性成熟的动物，否则实验不会成功。实验蛙和对照蛙注射垂体提取物及生理盐水时，注入的部位及体积要相同。

【思考题】

1. 在垂体提取物中，哪种激素主要诱导排卵的发生？

2. 哪些理化因素可影响两栖动物的排卵。

3. 垂体前叶有时也叫做“内分泌腺之母”，为何这样称呼？为什么这种说法是错误的？

实验 13-2　胰岛素的作用

【目的要求】

1. 了解胰岛素调节血糖水平的机能。

2. 了解胰岛素过量对动物的影响，并解释其临床意义。

【原理】

胰岛素是调节机体血糖的激素之一，当体内胰岛素含量增高时，可以引起血糖下

降，影响大脑的功能，使动物出现惊厥甚至昏迷和死亡。

胰岛素是由胰岛的β细胞分泌的一种多肽。它刺激葡萄糖从血液向肌肉、肝脏和脂肪运输，因而可以降低血糖浓度。

当胰岛不能分泌足量的胰岛素时，会造成糖尿病，葡萄糖从血液向组织的运输受损，从而导致血糖浓度上升（高血糖症）以及尿中出现葡萄糖（糖尿）。在这种条件下，身体的组织不能获得足够的葡萄糖来进行细胞呼吸，从而增加了依赖脂肪代谢产生的能量。脂肪代谢的中间产物（酮体）在血液中积累，导致酮酸中毒。由于这些产物中的一种（丙酮）具有挥发性（散发出一种水果味），因此这种病人的呼吸有水果味。尿中酮体和葡萄糖增加会让大量水分流失，一方面引起尿多，另一方面引起脱水。酸毒症和脱水的结合会导致昏迷。

有Ⅰ型糖尿病的患者必须注射胰岛素来维持血糖平衡。如果患者注射过多的胰岛素，血糖浓度会降到正常水平以下（低血糖症）。因为中枢神经系统仅能利用血液中的葡萄糖来供能，低血糖使大脑供能不足而产生休克，这种现象叫做胰岛素休克。本实验中金鱼对胰岛素的反应即是出现了这种症状。当然其他因素也能引起这种反应。在进餐后作为对食物碳水化合物的反应，β细胞分泌过量的胰岛素可能引起反应性低血糖症。这种低血糖症有时在糖尿病的早期出现，当然也能通过降低食量和有规律的就餐来控制。血糖过低也能由酒精摄取所引起，具体原因不明。引起血糖过低的其他原因包括β细胞肿瘤（分泌过量的胰岛素）和肝病（将糖原和非碳水化合物转化为葡萄糖的能力受损）。

当血糖浓度在45mg/dL（正常血糖浓度是70～100mg/dL）时，出现低血糖的症状。然而，如果脑循环受损时，较高的血糖浓度也能出现血糖过低的症状，例如有动脉硬化症的老年人。血糖过低的症状（虚弱无力、紧张、饥饿、肌肉颤抖和心搏过速）和大脑缺氧的症状相似。血糖过低会进一步损害大脑的其他部分，严重的大脑损伤可能导致昏迷和死亡。

低血糖症如糖尿病可通过口服葡萄糖耐受量测试来检测。病人喝下葡萄糖溶液后，按一定时间取血液样本进行检测，如果血糖浓度回落到正常水平的速度过快，表明胰岛素分泌或活动过多，造成低血糖症。

方法（一）

【动物与器械】

小白鼠6只；1mL注射器、鼠笼、胰岛素溶液（2IU/mL）、50%葡萄糖溶液、酸性生理盐水。

【方法与步骤】

1. 取6只小白鼠称重后，分实验组4只和对照组2只。

2. 给实验组动物腹腔注射胰岛素溶液0.1mL/(10g体重)。

3. 给对照组动物腹腔注射等量的酸性生理盐水。

4. 将两组动物都放在30～37℃的环境中，并记下时间，注意观察并比较两组动物的神态、姿势及活动情况。

5. 当实验组动物出现角弓反张、乱滚等惊厥反应时，记下时间，并立即给其中2只小鼠皮下注射葡萄糖溶液0.1mL/(10g体重)进行抢救，另2只小鼠则不进行抢救。

6. 比较对照组动物、出现惊厥后注射葡萄糖的动物，以及出现惊厥而未经抢救的动物的活动情况，并分析所得的结果。

【注意事项】

1. 动物在实验前必须饥饿 18～24h。

2. 一定要用 pH 2.5～3.5 的酸性生理盐水配制胰岛素溶液。因为胰岛素在酸性环境中才有效应。

3. 酸性生理盐水的配制：将 10mL 0.1mol/L HCl 加入 300mL 生理盐水中，调整其 pH 在 2.5～3.5 之间，如果偏碱，可加入同样浓度的盐酸调整。

4. 注射了胰岛素的动物最好放在 30～37℃环境中保温，夏天可为室温，冬天则应高些，可到 36～37℃。温度过低，反应出现较慢。

方法（二）

【动物与器械】

金鱼（体长 4～5cm）、500mL 烧杯两个、500mL 量筒一个、20%葡萄糖溶液、胰岛素溶液（400IU/100mL）、记号笔。

【方法与步骤】

1. 准备两只烧杯分别作 A 和 B 记号，A 烧杯中加入 100mL 胰岛素溶液，B 烧杯中加入 200mL 20%葡萄糖溶液。

2. 把一条金鱼放入 A 烧杯中，胰岛素通过鱼鳃的毛细血管循环扩散入血液，小心地观察金鱼的行为，记录金鱼出现昏迷所需的时间，并观察金鱼出现昏迷前的活动。

3. 当金鱼出现昏迷后，小心地转放入烧杯 B 中。观察金鱼发生的变化，并记录金鱼恢复活动所需的时间。

4. 做好记录。完成所有实验后，将金鱼放回饲养缸中。

【思考题】

1. 解释为何有Ⅰ型糖尿病的病人的呼吸有“水果味”？为何这个病人有脱水的危险？

2. 解释为何有Ⅰ型糖尿病的病人的体重会迅速下降。

3. 试分析糖尿病产生的原因及治疗方法。

实验 13-3　类固醇激素的薄层色谱分析

【目的要求】

1. 了解类固醇激素的主要种类以及分泌这些激素的腺体。

2. 了解不同类别类固醇激素之间的主要差异。

3. 了解薄层色谱法技术及操作步骤。

【原理】

有细微结构差异的类固醇有着显著不同的生物学效应。结构和溶解度的不同可用来分离类固醇混合物以及确认未知分子。

肾上腺皮质和性腺分泌的类固醇激素有特征性的四环结构。这种结构的碳原子排列如下：

化学结构的细微改变会产生非常显著的生物学的活动差异。根据类固醇激素的活动和结构，可分为以下的四类：①雄激素；②雌激素；③孕激素；④皮质类固醇激素，它们还可以分为糖皮质激素和盐皮质激素两个亚类。

雄激素有特征性的19个碳的类固醇结构，具刺激雄性第二性征发育的功能。最有效的雄激素是睾酮，由睾丸分泌。尽管雄激素主要来源于睾丸，但是肾上腺皮质也分泌少量的雄激素。肾上腺增生（Cushing综合征）和肾上腺皮质肿瘤会导致产生过量的雄激素，这对雌性有雄性化的作用。睾酮和其他雄激素是由睾丸的间质细胞所分泌。这些激素的分泌受到腺垂体分泌的促性腺激素的调控。

雌激素和雄激素的结构有细微的差异，雌激素是18个碳的类固醇，在A环有3个不饱和键。然而这两种激素的功能却有着显著的不同。主要的雌激素是雌二醇。雌激素在卵巢内的分泌周期性地增加和减少，在排卵时达到高峰。雌激素的周期性分泌其实是受卵泡刺激素周期性分泌的调控。周期性雌激素出现不正常的高浓度可能是因为肾上腺皮质或卵巢出现肿瘤。过量的雌激素对雄性有雌性化的作用。在正常的雌性周期，雌激素刺激子宫内膜的生长和发育。

子宫内膜的最终成熟受到孕酮的调控。孕酮是一个有21个碳的类固醇。排卵后开始由黄体分泌孕酮。孕酮的周期性分泌是受腺垂体分泌的黄体生成素（LH）的调控。在怀孕期，孕酮的分泌量增加，与胎儿的发育相对应。

皮质酮激素是肾上腺皮质分泌的类固醇激素。它们也是由21个碳原子组成，分为两个功能种类：糖皮质激素和盐皮质激素。盐皮质激素是由肾上腺皮质的球状带所分泌，参与Na^+和K^+平衡的调节。如血管紧张素Ⅱ刺激盐皮质激素醛固酮的分泌，而血管紧张素Ⅱ又受肾脏分泌的肾素所调控。醛固酮是最重要的盐皮质激素，然后是脱氧皮质酮。盐皮质激素的分泌异常往往和高血压相联系，可能由原发性醛固酮增多症或继发性醛固酮增多症所引起。继发性醛固酮增多症是由低血钠、高血钾、血容量不足、心力衰竭、肾衰竭或肝硬化所引起。

糖皮质激素是由肾上腺皮质的束状带和网状带所分泌，它促使肌蛋白的分解和氨基酸转化为葡萄糖（糖异生）。它们的分泌受垂体前叶分泌的ACTH所调控。皮质醇是人类最重要的糖皮质激素，而其他很多哺乳动物最重要的糖皮质激素是皮质酮。可的松是另一种糖皮质激素，医学上用于抑制炎症和免疫系统。糖皮质激素的分泌增加和Cushing综合征、怀孕、疾病引起的压力、手术和烧伤有关联。

【试剂与器械】

1. 薄层板（硅胶、F-254）、毛细管、色谱、展开室。

2. 吹风机、紫外分析仪、尺子或点样模板。

3. 类固醇溶液：1.0mg/mL无水酒精的睾酮、皮质醇、可的松、皮质酮、脱氧皮质酮，5mg/mL的雌二醇；未知浓度的含有上述任何两种类固醇的溶液。

4. 展开剂：60mL甲苯＋10mL乙酸乙酯＋10mL丙酮，或者是含有上述三种物质6∶1∶1的溶液。

【方法与步骤】

本实验将确定同一溶液中两种未知的类固醇。为了完成本任务，必须：①分离这两种类固醇；②将这两种类固醇的行为和已知的类固醇行为相比较，确定这两种类固醇。

每一种类固醇都有不同的结构，因而每一种类固醇在一种给定的溶液中有不同程度的溶解。可利用溶解度不同的原理在薄层色谱板上分离和确定类固醇。

薄层色谱板由薄的多孔材料（本实验是硅胶）板所组成。在板的底部，将类固醇溶液水平地点在几个不同的点上（点样），板的底部放在溶剂槽里，这些点在溶剂的上面。

溶剂在毛细管作用下向上蔓延，类固醇在原点溶解饱和后，和溶剂一起向板的顶部移动。因为每一种类固醇的溶解度不同，溶剂溶解和运输类固醇的时间也不同，每一种类固醇移动的距离也不同。如果在所有类固醇到达板的顶部之前停止上述进程，某些种类的类固醇会比其他移动得更远。

某一种类固醇在固定的溶剂中移动的距离相对于溶剂移动的距离是这种类固醇的一个特征值。用这个特征值（Rf 值）可以确定每一种类固醇。

$$\mathrm{Rf}=\frac{\text{从原点到类固醇点的距离（Ds）}}{\text{从原点在溶剂前端的距离（Df）}}$$

用这种方法，通过比较未知的类固醇在固定溶剂中的 Rf 值和已知类固醇在固定溶剂中的 Rf 值，可以确定未知的类固醇。

1. 用铅笔在薄层板边缘左方点上一个很小的凹口，离底部大约有 4cm。所有点样原点必须和这个凹口在同一水平线上。

2. 用毛细管小心地点上类固醇溶液 1（雌二醇），离板的左手边缘大约 1.5cm 的距离。用同样的类固醇溶液在同样的点重复点几次，允许点样过程中出现干燥。

3. 重复上述步骤，在其他点分别点上这些类固醇溶液（2. 睾酮；3. 皮质醇；4. 可的松；5. 皮质酮；6. 脱氧皮质酮；7. 未知的类固醇），每一个点相距 1.5cm，并在同一水平线上。

4. 在紫外灯下观察原点的类固醇点（小心：不要直接看紫外灯）。

5. 将薄层板放进装满溶剂的展开室内（甲苯/乙酸乙酯/丙酮，6∶1∶1），展开 1h。

6. 移出薄层板，干燥，在紫外灯下观察。用铅笔圈出在紫外灯下看到的点。

7. 在实验报告上记录已知类固醇溶液的 Rf 值，确定未知溶液的类固醇。以下表格记录你的数据，估算每个点的 Rf 值

类固醇	到前端的距离	到类固醇点的距离	Rf 值
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7 未知溶液 1			
8 未知溶液 2			

未知溶液含有以下的类固醇激素

未知 1：________________

未知 2：________________

【思考题】

1. 假设一位男士服用一种抑制 5α-还原酶的药，你认为这种药对前列腺会有怎样的作用？试解释之。

2. 假设上述的药也能引起男性秃顶，请说出男性秃顶的原因。

3. 在怀孕期间，妇女血液的雌三醇和雌四醇的浓度会逐渐增加，如何比较这两种激素在本实验的色谱上的迁移和 Rf 值以及雌二醇的迁移和 Rf 值？试解释之。

实验 13-4　离体子宫灌流

【目的要求】

1. 学习离体子宫灌流的实验方法。

2. 观察离体子宫平滑肌的活动及药物对它的作用。

【原理】

子宫的活动和其对药物的效应在很大程度上是由子宫的内分泌状态及解剖部位所决定的。动物的种属、个体成熟的程度、所处的性周期以及妊娠与否，都能影响子宫对药物的效应。

【动物与器械】

大白鼠；平滑肌离体灌流恒温装置、常用手术器械、自动控温仪、JZ100 张力换能器、计算机采样系统、温度计、显微镜、铁支架、载玻片、盖玻片、O_2、棉线、缝针、培养皿、肾上腺素（1∶10 000）、催产素（0.1U/mL）、低 Ca^{2+} 洛氏液、己烯雌酚。

【方法与步骤】

1. 离体子宫平滑肌灌流的实验装置和离体小肠段的生理特性实验完全相同。

2. 由于子宫的活动及对药物的敏感性随着动情周期而变化，对动情周期较短的动物，如小白鼠或大白鼠，可根据阴道细胞学检查，挑选动情期的动物进行实验。此外也可以在实验前 1～2 天，每天给动物皮下注射己烯雌酚 0.1mg/kg 体重，人工造成动情期，以提高子宫的敏感性。

3. 取体重 280～350g 左右、成年未孕雌性大白鼠，经阴道涂片镜检确定其处于动情期后，用颈椎脱臼法处死，剖开腹腔，用镊子轻轻拨开附在肠系膜上的脂肪，可见一对粉红色的卵巢和与它相连的子宫角，末端是阴道。迅速从卵巢与子宫角间剪断，下端在阴道处剪断，取出两侧子宫。立即把子宫放入盛有低 Ca^{2+} 洛氏液并通 O_2 的培养皿中，轻轻剥离子宫壁上的结缔组织和脂肪组织。从阴道处纵向剪开，将一侧子宫角的下端（连阴道端）穿入一 S 形不锈钢小钩，然后把小钩固定在营养管底的弯钩上。子宫角的另一端（连卵巢端）用缝针穿线结扎，把结扎线与换能器相连。营养液的温度保持在 30～32℃，并不断通入 O_2。

4. 为保证子宫比较稳定地活动，必须对子宫施加一定负荷，一般以 1g 为宜。加负荷可通过微调节换能器连线的紧张度来实现。但实验前必须进行计算机采样系统的绝对值校对。

5. 固定标本以后，应在营养液中稳定 20min 才进行实验。按图 13-4-1 所示连接张力换能器，BL-420 生物机能实验系统电脑，进入实验界面，设置好各项参数（放大倍

数 50～100，时间常数 0.1s，滤波 100Hz，扫描常数 1.00s/div）先记录子宫平滑肌的正常活动曲线，然后向营养液中加入 0.02mL 催产素，可见子宫活动加强，待效应明显之后，约采样记录 2～5min，便更换新鲜营养液冲洗 2～3 次。等标本恢复活动后，间隔 20min 再进行下一次试验。加入肾上腺素（1∶10 000）0.04mL，同样观察和记录子宫活动的变化。

6. 子宫平滑肌正常活动和加入各种药物后观察的指标为强度（幅度）与频率。幅度即以每次收缩所达到的最高点表示。频率以每 10min 收缩的次数表示。子宫活动力，用强度和频率的乘积表示。

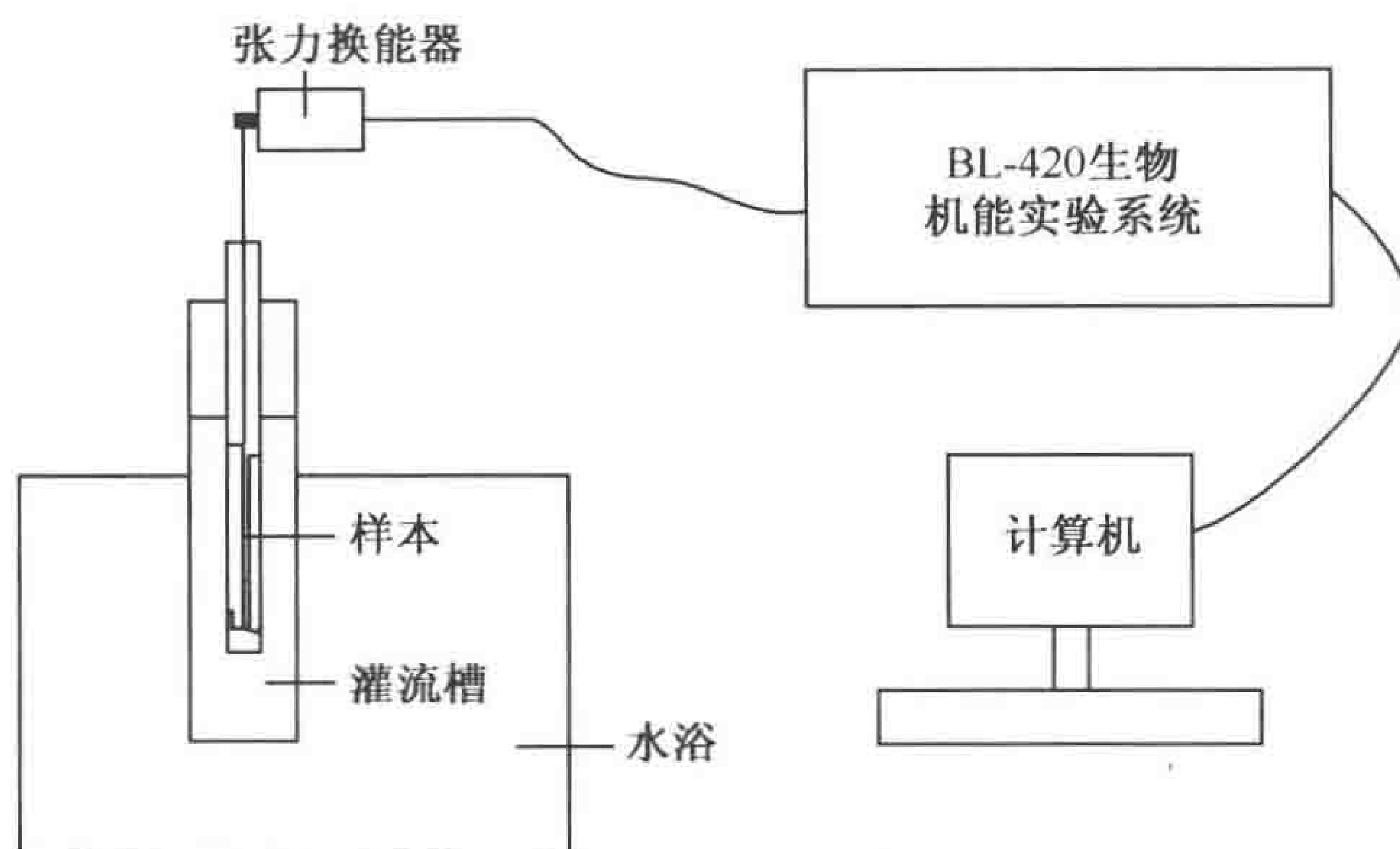


图 13-4-1　离体子宫实验示意图

【注意事项】

1. 操作过程中应避免过度用力牵拉子宫组织，而且操作时间应该尽量短，并注意供给氧气。

2. 低 Ca^{2+} 洛氏液能消除子宫平滑肌的自发运动。可把洛氏液配方中的 $CaCl_2$ 由 0.24g/L 改为 0.06g/L。

3. 每次加入药物后的观察时间，更换新鲜营养液的次数，及两次加入药物的间隔时间均应尽可能保持一致。

4. 由于子宫平滑肌的活动十分缓慢，其收缩频率约 0.75 次/min，电脑采样时应注意选择参数，应选择合适的扫描速度，并进行长时间记录。

【思考题】

分析催产素和肾上腺素对子宫平滑肌的作用。

实验 13-5　小鼠卵母细胞的体外培养

【目的要求】

1. 了解卵母细胞体外培养的方法。

2. 观察卵母细胞形态及减数分裂过程。

【原理】

卵子的产生与成熟是两性生殖的必要前提。卵子由卵原细胞发育而来，卵原细胞经

过有丝分裂，增殖形成初级卵母细胞，再经过两次不均等的减数分裂，形成一个成熟的卵细胞。人出生后，初级卵母细胞一直停留在第一次减数分裂的间期，直到青春期时，才在黄体生成素（LH）和卵泡刺激素（FSH）等激素的促进下进一步成熟，完成第一次减数分裂，释放出第一极体，成为次级卵母细胞，在经过排卵过程后，在精子的刺激下，完成第二次减数分裂，形成成熟的卵子。

在未排卵前，卵母细胞周围包裹大量颗粒细胞，最外侧的颗粒细胞特化成膜，颗粒细胞分泌卵泡液营养和保护卵母细胞。卵母细胞、颗粒细胞、卵泡液共同构成卵圆形的卵泡，人处于青春期时，约有 40 000 个卵泡共存于卵巢中。当青春期到来，血液中 LH 出现峰值，卵泡内部处于第一次减数分裂间期的卵母细胞发生核膜破裂，这是成熟开始的标志；然后卵母细胞释放出第一极体，完成第一次减数分裂，随即进入第二次减数分裂，到达第二次减数分裂的间期时，卵母细胞成熟，随后在排卵过程中被排出卵巢。

孕马血清促性腺激素（PMSG）的生理功能与卵泡刺激素功能相似，还具有一定促排卵和黄体形成的功能，因此具有激活卵巢的活动，促进卵泡的生长发育，使体内雌激素水平升高的功能。

【动物与器械】

1. 动物：雌性昆明小鼠（3 周龄）。

2. 器材：手术器械（手术刀、手术剪、弯头眼科镊）、培养皿（35mm）、移液器、CO_2培养箱、解剖镜、倒置显微镜。

3. 试剂：Minimum Essential Medium-Alpha（MEM-α）、Leibovitz's L-15 medium、甲基黄嘌呤、石蜡油、胎牛血清、青霉素、链霉素。

4. 药品：孕马血清促性腺激素（PMSG）。

【方法与步骤】

1. 配制培养液

（1）卵母细胞体外分离用培养液：在 Leibovitz's L-15 medium 中添加甲基黄嘌呤至 50μmol/L，添加青霉素至 100IU/mL 及链霉素至 100μg/mL。

（2）卵母细胞体外培养用培养液：在 Minimum Essential Medium-Alpha（MEM-α）中添加胎牛血清至 5%。

2. 准备工作

（1）取 3 周龄 ICR 小鼠，每只注射 5IU PMSG。

（2）在 35mm 培养皿里加入 4～7 滴配好的体外培养用培养液 MEM-α，每滴 10μL 用石蜡油覆盖，放入 37℃ 5%CO_2 培养箱平衡过夜。

3. 卵母细胞的分离和培养

（1）在注射完 PMSG 46～48h 后处死小鼠，取出卵巢，放入盛有体外分离用培养液 L-15 的培养皿中。

（2）吸取培养液，用弯头眼科剪剪碎卵巢，再加入 L-15 培养液。

（3）在解剖镜下吸出可见清楚的卵核的卵母细胞，在干净的 L-15 培养液中洗 2 次，除去周围的卵泡颗粒细胞，再转移到盛有 MEM-α 的培养皿中洗 1 次。

（4）把卵母细胞转移到 MEM-α 的小液滴中，每滴可放 10～15 个卵。

（5）使卵母细胞在 37℃ 5%CO_2 培养箱培养 16～18h。

4. 结果观察（图 13-5-1）

（1）取出培养皿，在置于倒置显微镜载物台上。

（2）观察卵核、及卵泡破裂情况。

（3）观察未排出及已排出极体的形态。

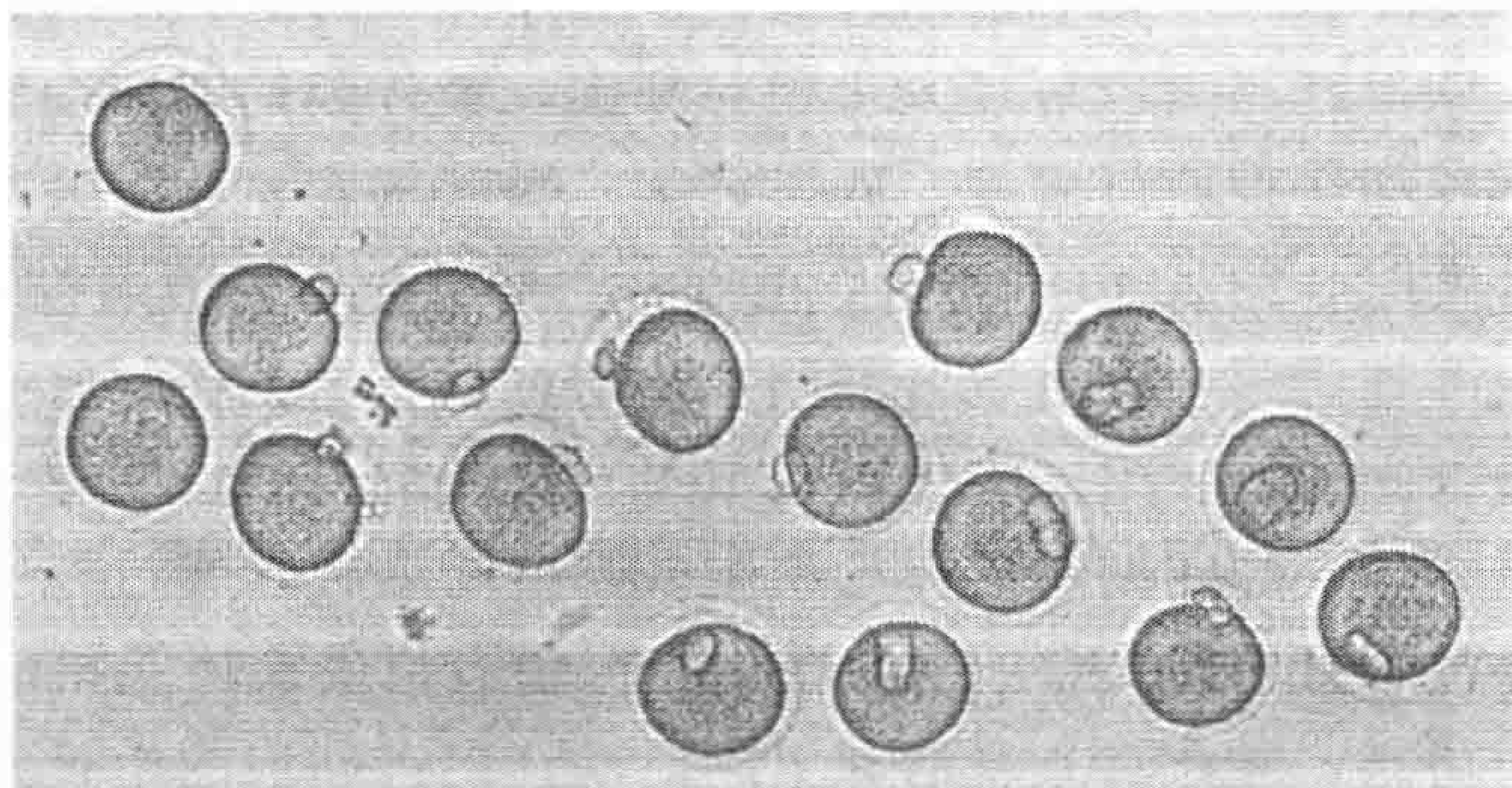


图 13-5-1　体外培养卵母细胞显微镜观察

【注意事项】

1. 在整个实验过程中，尽量无菌操作。

2. 分离卵母细胞时，要把周围的颗粒细胞尽量清除干净。

【思考题】

1. 小鼠注射孕马血清促性腺激素（PMSG）意义何在？

2. 为何卵母细胞的体外分离与体外培养使用不同的培养液？

3. 哪些环境因素会影响实验结果？

参考文献

陈守良. 2005. 动物生理学. 第三版. 北京：北京大学出版社

高明灿. 2007. 生理学实验指导. 上海：上海第二军医大学出版社

解景田，赵静. 2002. 生理学实验. 第二版. 北京：高等教育出版社

李凤奎. 2007. 实验动物与动物实验方法学. 郑州：郑州大学出版社

刘先国. 2004. 生理学. 北京：科学出版社

曲瑞瑶. 2002. 生理学试题精选. 北京：人民军医出版社

石岩. 2002. 医学动物实验实用手册. 北京：中国农业出版社

孙敬方. 2001. 动物实验方法学. 北京：人民卫生出版社

孙久荣，黄玉芝. 2005. 生理学实验. 北京：北京大学出版社

王玢，左明雪. 2005. 人体及动物生理学. 第二版. 北京：高等教育出版社

王庭槐. 2004. 生理学. 北京：高等教育出版社

魏香，谢佐平，苏付荣等. 2005. 生理学实验指导. 北京：清华大学出版社

徐叔云. 2002. 药理实验方法学. 第三版. 北京：人民卫生出版社

姚泰. 2004. 生理学. 第六版. 北京：人民卫生出版社

张均用. 2002. 现代药理实验方法. 北京：北京医科大学/协和医科大学出版社

Berne R M，Levy M N. 2000. Principles of Physiology，Third Edition，Mosby

Dee Silverthorn U. 2001. Human Physiology，an integrated approach，second edition，Prentice-Hall

Donnelly P J，Wistreich G A. 1993. Laboratory Manual for Anatomy and Physiology，Fourth Edition，HarperCollins College Publishers

Ganong W F. 2001. Review of Medical Physiology，20th edit，McGraw-Hill

Guyton A C，Hall J E. 2002. Textbook of Medical Physiology，10th edit. Health Sciences Asia，Elsevier Science

Marieb E N. 2001. Human Anatomy & Physiology (fifth Edition)，Benjamin Cummings

Marieb E N. 2003. Anatomy & Physiology Coloring Workbook: A complete study guide. Seventh Edition，Benjamin Cummings

Marieb E N. 2003. Human Anatomy and Physiology Laboratory Manual，Seventh Edition，Benjamin Cummings

Stuart I F. 2002. Laboratory Guide for Human Physiology，Ninth Edition，McGraw-Hill Higher Education

附录一　常用麻醉剂的种类及用法

麻醉剂可分为局部麻醉剂和全身麻醉剂两种。局部麻醉剂常用0.5%～1.0%盐酸普鲁卡因或2%盐酸可卡因作皮肤或黏膜表面麻醉。在生理实验中，多采用全身麻醉剂，如挥发性的乙醚、氟烷和非挥发性的巴比妥类、氨基甲酸乙酯等，常用麻醉剂的剂量和用法见附表1-1。

附表1-1　动物常用麻醉剂的剂量和用法

麻醉剂	动物种类	给药途径	药物浓度	剂量/mg/(kg体重)	维持时间/h	备注
乙醚	各种动物	气管吸入	/	适量	较短	乙醚对呼吸道有刺激作用，可用阿托品皮下或肌肉注射预防
戊巴比妥纳	狗、猫、兔	静脉	3%	30	2～4	麻醉较平稳
	狗、猫、兔	腹腔		35		麻醉过量时，可用咖啡因、苯丙胺解救
	鼠类	腹腔		40		
	鸟类	肌腔		50～100		
氨基甲酸乙酯	狗、猫、兔	静脉	20%～25%	1000	2～4	易溶于水
	狗、猫、兔	腹腔		1000		对器官功能影响较小
	鼠类	腹腔		1000		
	鸟类	肌腔		1250		
	蛙类	皮下淋巴囊		2000		
氯醛糖	狗、兔	静脉	1%	60～80	3～4	溶解度较低，可加温助溶，但不可煮沸。对呼吸及血管运动中枢影响较小
	猫	腹腔		60～80		
	鼠类	腹腔		80～100		
硫喷妥纳	狗、猫	静脉	2.5%～5%	15～25	0.5～1.5	溶液不稳定，需使用前配制。刺激性较大，不宜作皮下或肌肉注射。静脉注射对心血管及内脏损害较小，注射宜慢以免麻醉过深
	兔	静脉		10～20		
苯巴比妥钠	狗、猫、兔	静脉	10%	80～100	24～72	麻醉诱导期较长，深度不易控制。不宜作血压实验，麻醉过量可用苯丙胺，四氯五甲烷解救
	狗、猫、兔	腹腔		100～150		
	鸽	肌肉		300		

附录二　常用生理溶液的配制

在生理学实验中，常用的生理溶液有生理盐水、任氏液、乐氏液（Locke）及台氏液（Tyrode）。其成分如附表 2-1。

附表 2-1　常用生理溶液成分表　　（单位：g）

成分	任氏液 两栖类用	乐氏液 哺乳类用	台氏液 哺乳类用	生理盐水	
				两栖类	哺乳类
NaCl	6.5	9.0	8.0	6.5～7.0	9.0
KCl	0.14	0.42	0.2	—	—
$CaCl_2$	0.12	0.24	0.2	—	—
$NaHCO_3$	0.20	0.1～0.3	1.0	—	—
NaH_2PO_4	0.01	—	0.05	—	—
$MgCl_2$	—	—	0.1	—	—
葡萄糖	2.0	1.0～2.5	1.0	—	—
蒸馏水	均加至 1000mL				

对于低等动物，包括海水与淡水无脊椎动物等，由于其生活环境不同，所需生理溶液的成分与比例也有差别。附表 2-2 列出低等动物生理溶液成分。

附表 2-2　低等动物生理溶液成分表　　（单位：g/mL）

成分	人工海水	人工海水 Van't Hoff	海水无脊椎 动物（蟹）	淡水无脊椎 动物（砂、砾蟹）	淡水无脊椎动物 （淡水贝类）	淡水脊椎动物 （淡水鱼）
NaCl	23.5	27.0	26.0	12.0	1.2	2.2
KCl	0.75	—	0.85	0.1	0.15	0.03
$CaCl_2$	1.17	1.0	1.50	1.63	0.125	0.016
$MgCl_2$	5.0	3.4	2.33	0.25	—	—
$MgSO_4$	—	12.1	—	—	—	—
H_3BO_2	—	—	0.55	—	—	—
NaOH	—	—	0.02	—	—	—
$NaHCO_3$	—	5.0	—	0.2	—	0.03
Na_2SO_4	4.0	—	3.0	—	—	—

附录三　随机数字表

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	03	47	43	73	86	36	96	47	36	61	46	98	63	71	62	33	26	16	80	45	60	11	14	10	95
2	97	74	24	67	62	42	81	14	57	20	42	53	32	37	32	27	07	36	07	51	24	51	79	89	73
3	16	76	62	27	66	56	50	26	71	07	32	90	79	78	53	13	55	38	58	59	88	97	54	14	10
4	12	56	85	99	26	96	96	68	27	31	05	03	72	93	15	57	12	10	14	21	88	26	49	81	76
5	55	59	56	35	64	38	54	82	46	22	31	62	43	09	90	06	18	44	32	53	23	83	01	30	30
6	16	22	77	94	39	49	54	43	54	82	17	37	93	23	78	87	35	20	96	43	84	26	34	91	64
7	84	42	17	53	31	57	24	55	06	88	77	04	74	47	67	21	76	33	50	25	83	92	12	06	76
8	63	01	63	78	59	16	95	55	67	19	98	10	50	71	75	12	86	73	58	07	44	39	52	38	79
9	33	21	12	34	29	78	64	56	07	82	52	42	07	44	38	15	51	00	13	42	99	66	02	79	54
10	57	60	86	32	44	09	47	27	96	54	49	17	46	09	62	90	52	84	77	27	08	02	73	43	28
11	18	18	07	92	46	44	17	16	58	09	79	83	86	19	62	06	76	50	03	10	55	23	64	05	05
12	26	62	38	97	75	84	16	07	44	99	83	11	46	32	24	20	14	85	88	45	10	93	72	88	71
13	23	42	40	64	74	82	97	77	77	81	07	45	32	14	08	32	98	94	07	72	93	85	79	10	75
14	52	36	28	19	95	50	92	26	11	97	00	56	76	31	38	80	22	02	53	53	86	60	42	04	53
15	37	85	94	35	12	83	39	50	08	30	42	34	07	96	88	54	42	06	87	98	35	85	29	48	39
16	70	29	17	12	13	40	33	20	38	26	13	89	51	03	74	17	76	37	13	04	07	74	21	19	30
17	56	62	18	37	35	96	83	50	87	75	97	12	25	93	47	70	33	24	03	54	97	77	46	44	80
18	99	49	57	22	77	88	42	95	45	72	16	64	36	16	00	04	43	18	66	79	94	77	24	21	90
19	16	08	15	04	72	33	27	14	34	09	45	59	34	68	49	12	72	07	34	45	99	27	72	95	14
20	31	16	93	32	43	50	27	89	87	19	20	15	37	00	49	52	85	66	60	44	38	68	88	11	80
21	68	34	30	13	70	55	74	30	77	40	44	22	78	84	26	04	33	46	09	52	68	07	97	06	57
22	74	57	25	65	76	59	29	97	68	60	71	91	38	67	54	13	58	18	24	76	15	54	55	95	52
23	27	42	37	86	53	48	55	90	65	72	96	57	69	36	10	96	46	92	42	45	97	60	49	04	91
24	00	39	68	29	61	66	37	32	20	30	77	84	57	03	29	10	45	65	04	26	11	04	96	67	24
25	29	94	98	94	24	68	49	69	10	82	53	75	91	93	30	34	25	20	57	27	40	48	73	51	92
26	16	90	82	66	59	83	62	64	11	12	67	19	00	71	74	60	47	21	29	68	02	02	37	03	31
27	11	27	94	75	06	06	09	19	74	66	02	94	37	34	02	76	70	90	30	86	38	45	94	30	38
28	35	24	10	16	20	33	32	51	26	38	79	78	45	04	91	16	92	53	56	16	02	75	50	95	98
29	38	23	16	86	38	42	38	97	01	50	87	75	66	81	41	40	01	74	91	62	48	51	84	08	32
30	31	96	25	91	47	96	44	33	49	13	34	86	82	53	91	00	52	43	48	85	27	55	26	89	62
31	66	67	40	67	14	64	05	71	95	86	11	05	65	09	68	76	83	20	37	90	57	16	00	11	66
32	14	90	84	45	11	75	73	88	05	90	52	27	41	14	86	22	98	12	22	08	07	52	74	95	80

续表

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
33	68	05	51	18	00	33	96	02	75	19	07	60	62	93	55	59	33	82	43	90	49	37	38	44	59
34	20	46	78	73	90	97	51	40	14	02	04	02	33	31	08	39	54	16	49	36	47	95	93	13	30
35	64	19	58	97	79	15	06	15	93	20	01	90	10	75	06	40	78	73	89	62	02	67	74	17	33
36	05	26	93	70	60	22	35	85	15	13	92	03	51	59	77	59	56	78	06	83	52	91	05	70	74
37	07	97	10	88	23	09	98	42	99	64	61	71	62	99	15	06	51	29	16	93	58	05	77	09	51
38	68	71	86	85	85	54	87	66	47	54	73	32	08	11	12	44	95	92	63	16	29	56	24	29	48
39	26	99	61	65	53	58	37	78	80	70	42	10	50	67	42	32	17	55	85	74	94	44	67	16	94
40	14	65	52	68	75	87	59	36	22	41	26	78	63	06	55	13	08	27	01	50	15	29	39	39	43
41	17	53	77	58	71	71	41	61	50	72	12	41	94	96	26	44	95	27	36	99	02	96	74	30	83
42	90	26	59	21	19	23	52	23	33	12	96	93	02	18	39	07	02	18	36	07	25	99	32	70	23
43	41	23	52	55	99	31	04	49	69	96	10	47	48	45	88	13	41	43	89	20	97	17	14	49	17
44	60	20	50	81	69	31	99	73	68	68	35	81	33	03	76	24	30	12	48	60	18	99	10	72	34
45	91	25	38	05	90	94	58	28	41	36	45	37	59	03	09	90	35	57	29	12	82	62	54	65	60
46	34	50	57	74	37	98	80	33	00	91	09	77	93	19	82	74	94	80	04	04	45	07	31	66	49
47	85	22	04	39	43	73	81	53	94	79	33	62	46	86	28	08	31	54	46	31	53	94	13	38	47
48	09	79	13	77	48	73	82	97	22	21	05	03	27	24	83	72	89	44	05	60	35	80	39	94	88
49	88	75	80	18	14	22	95	75	42	49	39	32	82	22	49	02	48	07	70	37	16	04	61	67	87
50	90	96	23	70	00	39	00	03	06	90	55	85	78	38	36	94	37	30	69	32	90	89	00	76	33

附录四 肺活量与年龄身高的关系

附表 4-1 男性肺活量与

身高/cm 年龄/岁	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168
16	3765	3820	3870	3920	3975	4025	4075	4130	4180	4230	4285	4335
18	3740	3790	3840	3890	3940	3995	4045	4095	4145	4200	4250	4300
20	3710	3760	3810	3860	3910	3960	4015	4065	4115	4165	4215	4265
22	3680	3730	3780	3830	3880	3930	3980	4030	4080	4135	4185	4235
24	3635	3685	3735	3785	3835	3885	3935	3985	4035	4085	4135	4185
26	3605	3655	3705	3755	3805	3855	3905	3955	4000	4050	4100	4150
28	3575	3625	3675	3725	3775	3820	3870	3920	3970	4020	4070	4115
30	3550	3595	3645	3695	3740	3790	3840	3890	3935	3985	4035	4080
32	3520	3565	3615	3665	3710	3760	3810	3855	3905	3950	4000	4050
34	3475	3525	3570	3620	3665	3715	3760	3810	3855	3905	3950	4000
36	3445	3495	3540	3585	3605	3680	3730	3775	3825	3870	3920	3965
38	3415	3465	3510	3555	3575	3650	3695	3745	3790	3840	3885	3930
40	3385	3435	3480	3525	3540	3620	3665	3710	3760	3805	3850	3900
42	3360	3405	3450	3495	3495	3590	3635	3680	3725	3770	3820	3865
44	3315	3360	3405	3450	3465	3540	3585	3630	3675	3725	3770	3815
46	3285	3330	3375	3420	3435	3510	3555	3600	3645	3690	3735	3780
48	3255	3300	3345	3390	3390	3480	3525	3570	3615	3655	3700	3745
50	3210	3255	3300	3345	3355	3430	3475	3520	3565	3610	3650	3695
52	3185	3225	3270	3315	3325	3400	3445	3490	3530	3575	3620	3660
54	3155	3195	3240	3285	3295	3370	3415	3455	3500	3540	3585	3630
56	3125	3165	3210	3255	3250	3340	3380	3425	3465	3510	3550	3595
58	3080	3125	3165	3210	3250	3290	3335	3375	3420	3460	3500	3545
60	3050	3095	3135	3175	3220	3260	3300	3345	3385	3430	3470	3500
62	3020	3060	3110	3150	3190	3230	3270	3310	3350	3390	3440	3480
64	2990	3030	3080	3120	3160	3200	3240	3280	3320	3360	3400	3440
66	2950	2990	3030	3070	3110	3150	3190	3230	3270	3310	3350	3390
68	2920	2960	3000	3040	3080	3120	3160	3200	3240	3280	3320	3360
70	2890	2930	2970	3010	3050	3090	3130	3170	3210	3250	3290	3330
72	2860	2900	2940	2980	3020	3060	3100	3140	3180	3210	3250	3290
74	2820	2860	2900	2930	2970	3010	3050	3090	3130	3170	3200	3240

注：表中肺活量的单位为 mL

年龄身高的关系

170	172	174	176	178	180	182	184	186	188	190	192	194
4385	4440	4490	4540	4590	4645	4695	4745	4800	4850	4900	4955	5005
4350	4405	4455	4505	4555	4610	4660	4710	4760	4815	4865	4915	4965
4320	4370	4420	4470	4520	4570	4625	4675	4725	4775	4825	4875	4930
4285	4335	4385	4435	4485	4535	4585	4635	4685	4735	4790	4840	4890
4235	4285	4330	4380	4430	4480	4530	4580	4630	4680	4730	4780	4830
4200	4250	4300	4350	4395	4445	4495	4545	4595	4645	4695	4740	4790
4165	4215	4265	4310	4360	4410	4460	4510	4555	4605	4655	4705	4755
4130	4180	4230	4275	4325	4375	4425	4470	4520	4570	4615	4665	4715
4095	4145	4195	4240	4290	4340	4385	4435	4485	4530	4580	4625	4675
4045	4095	4140	4190	4225	4285	4330	4380	4425	4475	4520	4570	4615
4010	4060	4105	4155	4200	4250	4295	4340	4390	4435	4485	4530	4580
3980	4025	4070	4120	4165	4210	4260	4305	4350	4400	4445	4495	4540
3945	3990	4035	4085	4130	4175	4220	4270	4315	4360	4410	4455	4500
3910	3955	4000	4050	4095	4140	4185	4230	4280	4325	4370	4415	4460
3860	3905	3950	3995	4040	4085	4130	4175	4220	4270	4315	4360	4405
3825	3870	3915	3960	4005	4050	4095	4140	4185	4230	4275	4320	4365
3790	3835	3880	3925	3970	4015	4060	4105	4150	4190	4235	4280	4325
3740	3785	3830	3870	3915	3960	4005	4050	4090	4135	4180	4225	4270
3705	3750	3795	3835	3880	3925	3970	4010	4055	4100	4140	4085	4230
3670	3715	3760	3800	3845	3890	3930	3975	4020	4060	4105	4145	4190
3640	3680	3725	3765	3810	3850	3895	3940	3980	4025	4065	4110	4150
3585	3630	3670	3715	3755	3800	3840	3880	3925	3965	4010	4050	4095
3555	3595	3635	3680	3720	3760	3805	3845	3885	3930	3970	4015	4055
3520	3560	3600	3640	3680	3730	3770	3810	3850	3890	3930	4050	4020
3490	3530	3570	3610	3650	3690	3730	3770	3810	3850	3900	4015	3980
3430	3470	3510	3550	3600	3640	3680	3720	3760	3800	3840	3970	3920
3400	3440	3480	3520	3560	3600	3640	3680	3720	3760	3800	3940	3880
3370	3410	3450	3480	3520	3560	3600	3640	3680	3720	3760	3800	3840
3330	3370	3410	3450	3490	3530	3570	3610	3650	3680	3720	3760	3800
3280	3320	3360	3400	3440	3470	3510	3550	3590	3630	3670	3710	3740

附表 4-2　女性肺活量与

年龄/岁 \ 身高/cm	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168
16	2950	2990	3030	3070	3110	3150	3190	3230	3270	3310	3350	3390
17	2935	2975	3015	3055	3095	3135	3175	3215	3255	3295	3335	3375
18	2920	2960	3000	3040	3080	3120	3160	3200	3240	3280	3320	3360
20	2890	2930	2970	3010	3050	3090	3130	3170	3210	3250	3290	3330
22	2860	2900	2940	2980	3020	3060	3095	3135	3175	3215	3255	3290
24	2830	2870	2910	2950	2985	3025	3065	3100	3140	3180	3220	3260
26	2800	2840	2880	2920	2960	3000	3035	3070	3110	3150	3190	3230
28	2775	2810	2850	2890	2930	2965	3000	3040	3070	3115	3155	3190
30	2745	2780	2820	2860	2895	2935	2970	3010	3045	3085	3120	3160
32	2715	2750	2790	2825	2865	2900	2940	2975	3015	3050	3090	3125
34	2685	2725	2760	2795	2835	2870	2910	2945	2980	3020	3055	3090
36	2655	2695	2730	2765	2805	2840	2875	2910	2950	2985	3020	3060
38	2630	2665	2700	2735	2770	2810	2845	2880	2915	2950	2990	3025
40	2600	2635	2670	2705	2740	2775	2810	2850	2885	2920	2955	2990
42	2570	2605	2640	2675	2710	2745	2780	2815	2850	2885	2920	2955
44	2540	2575	2610	2645	2680	2715	2750	2785	2820	2855	2890	2925
46	2510	2545	2580	2615	2650	2685	2715	2750	2785	2820	2855	2890
48	2480	2515	2550	2585	2620	2650	2685	2715	2750	2785	2820	2855
50	2455	2485	2520	2555	2590	2625	2655	2690	2720	2755	2785	2820
52	2425	2455	2490	2525	2555	2590	2625	2655	2690	2720	2755	2790
54	2395	2425	2460	2495	2530	2560	2590	2625	2655	2690	2720	2755
56	2365	2400	2430	2460	2495	2525	2560	2590	2625	2655	2690	2720
58	2335	2370	2400	2430	2460	2495	2525	2560	2590	2625	2655	2690
60	2305	2340	2370	2400	2430	2460	2495	2525	2560	2560	2625	2655
62	2280	2310	2340	2370	2405	2435	2465	2495	2525	2560	2590	2620
64	2250	2280	2310	2340	2370	2400	2430	2465	2495	2525	2555	2585
66	2220	2250	2280	2310	2340	2370	2400	2430	2460	2495	2525	2555
68	2190	2220	2250	2280	2310	2340	2370	2400	2430	2460	2490	2520
70	2160	2190	2220	2250	2280	2310	2340	2370	2400	2425	2455	2485
72	2130	2160	2190	2220	2250	2280	2310	2335	2365	2395	2425	2455
74	2100	2130	2060	2190	2220	2245	2275	2305	2335	2360	2390	2420

注：表中肺活量的单位为 mL

年龄身高的关系

170	172	174	176	178	180	182	184	186	188	190	192	194
3430	3470	3510	3550	3690	3630	3570	3715	3755	3800	3840	3880	3920
3415	3455	3495	3535	3575	3615	3655	3695	3740	3780	3820	3860	3900
3400	3440	3480	3520	3560	3600	3640	3680	3720	3760	3800	3840	3880
3370	3410	3450	3490	3525	3565	3605	3645	3695	3720	3760	3800	3840
3330	3370	3410	3450	3490	3530	3570	3610	3650	3685	3725	3765	3800
3300	3335	3375	3415	3455	3490	3530	3570	3610	3650	3685	3725	3765
3265	3300	3340	3380	3420	3455	3495	3530	3570	3610	3650	3685	3725
3230	3270	3305	3345	3380	3420	3460	3495	3535	3570	3610	3650	3685
3195	3235	3270	3310	3345	3385	3420	3460	3495	3535	3570	3610	3645
3160	3200	3235	3275	3310	3350	3385	3425	3460	3495	3535	3570	3610
3130	3165	3200	3240	3275	3310	3350	3385	3425	3460	3495	3535	3570
3095	3130	3165	3205	3240	3275	3310	3350	3385	3420	3460	3495	3530
3060	3095	3130	3170	3205	3240	3275	3310	3350	3385	3420	3455	3490
3025	3060	3095	3135	3170	3205	3240	3275	3310	3345	3380	3420	3455
2990	3025	3060	3100	3135	3170	3205	3240	3275	3310	3345	3380	3415
2960	2995	3030	3060	3095	3130	3165	3200	3235	3270	3305	3340	3375
2925	2960	2995	3030	3060	3095	3130	3165	3200	3235	3270	3305	3340
2890	2925	2960	2995	3030	3060	3095	3130	3160	3195	3230	3265	3300
2855	2890	2925	2955	2990	3025	3060	3090	3125	3155	3090	3225	3260
2820	2855	2890	2925	2955	2990	3020	3055	3090	3125	3155	3190	3220
2790	2820	2855	2885	2920	2950	2985	3020	3050	3085	3115	3150	3180
2755	2790	2820	2855	2885	2920	2950	2980	3015	3045	3080	3110	3145
2720	2750	2785	2815	2850	2880	2920	2945	2975	3010	3040	3075	3105
2685	2720	2750	2780	2810	2845	2875	2915	2940	2970	3000	3035	3065
2655	2685	2715	2745	2775	2810	2840	2870	2900	2935	2965	2995	3025
2620	2650	2680	2710	2740	2770	2805	2835	2865	2895	2925	2955	2990
2585	2615	2645	2675	2705	2735	2765	2800	2825	2860	2890	2920	2950
2550	2580	2610	2640	2670	2700	2730	2760	2795	2820	2850	2880	2910
2515	2545	2575	2605	2635	2665	2695	2725	2755	2780	2810	2840	2870
2480	2510	2540	2570	2600	2630	2660	2685	2715	2745	2775	2805	2830
2450	2745	2505	2535	2565	2590	2620	2620	2682	2710	2740	2765	2795

附录五　生理学实验中常见问题及答案

第四章　神 经 肌 肉

1. 如何保持标本在实验过程中机能稳定?

答:(1) 制备标本的操作过程中,勿过度牵拉、损伤神经和肌肉。勿用金属器械触碰神经肌肉。同时,也不要使动物的皮肤分泌物和血液等接触神经和肌肉,以免影响标本的活性。

(2) 制备好的标本要先置于任氏液中稳定 5~15min。

(3) 神经应与每只电极密切接触,同时注意保护电极不要短路。连接导线的接头要牢固。

(4) 刺激之后必须让标本休息一段时间,约 0.5~1 min。实验过程中标本的兴奋性会发生改变,因此还要抓紧时间进行实验。

(5) 整个实验过程中要不断给标本滴加任氏液,防止干燥,保持其兴奋性。

2. 何为标本的最适刺激强度?

答:使用单脉冲刺激方式,调节参数使刺激强度从零开始逐渐增大。当刺激强度增大到某一个强度时,骨骼肌中所有的肌纤维均产生了兴奋,肌肉出现最大的收缩反应;此时如再继续增大刺激强度,肌肉的收缩却不再增大。这种能使肌肉发生最大收缩反应的最小刺激强度称为最适强度。

3. 标本兴奋性的指标是什么?

答:生理学将引起组织兴奋,即产生动作电位所需的最小刺激强度,称为阈强度或阈刺激,简称阈值 (threshold),并以此作为衡量组织兴奋性高低的指标。

4. 同一标本的阈刺激强度与最适刺激强度是否会发生变化?为什么?

答:会发生变化。因为实验过程中标本本身的兴奋性会发生改变。

5. 骨骼肌有哪些生理特性?试说明其生理意义。

答:骨骼肌有兴奋性、传导性和收缩性。在实验条件下,肌肉受到单个刺激就产生一次收缩,称单收缩,它是一切复杂肌肉活动的基础。一个单收缩过程包括潜伏期、缩短期和舒张期。潜伏期是从刺激到肌肉开始收缩的一段时间。从肌肉开始收缩到收缩至最大程度的时期称为缩短期,随后出现舒张期,这是肌肉收缩的恢复期。如果第二次刺激发生在不应期则骨骼肌对第二次刺激不作出反应,如果发生在舒张期则出现不完全强直收缩,如果刺激频率足够大,就出现完全强直收缩。

意义:骨骼肌不应期的生理意义在于可以避免过大频率的刺激对骨骼肌造成损伤;舒张期可以放松肌肉;骨骼肌的强直收缩可以作出大幅度的运动。

6. 本实验的潜伏期是指什么,时间如何计算,其中包括哪些时间因素及生理过程?

答:潜伏期是指从刺激发出到肌肉开始收缩的间隔时间。包括神经动作电位的传导、神经-肌肉接头处的信号传递、肌肉产生动作电位并进行传导等生理过程,其中神

经-肌肉接头处的信号传递时间长短决定了潜伏期的长短。

7. 什么实验指标表示肌肉的兴奋性?

答：可以反映肌肉兴奋性的指标有肌肉张力和曲线中的潜伏期的长短。由于刺激肌肉使用的是最适刺激强度，因此可以从张力的最大值来判断肌肉的兴奋性大小；同样，从潜伏期的长短也可以判断兴奋性的好坏。

8. 分析讨论肌肉发生收缩总和的条件与机制。

答：对骨骼肌施加第一个刺激时，骨骼肌产生收缩反应，隔一段时间后施加第二个刺激，由于这段时间小于单收缩的时程，骨骼肌还没有从第一次收缩回到舒张状态，而这段时间又大于不应期，因此骨骼肌会对第二次刺激产生反应，两次收缩产生叠加，当间隔时间足够小时，就会产生收缩的叠加波形。

9. 分析讨论不完全强直收缩和完全强直收缩的条件与机制。

答：两者产生的条件都是两次刺激的间隔时间要小于收缩时程而大于不应期，但如果一次刺激在上一次收缩的舒张期，骨骼肌的收缩曲线会呈波浪形上升状，此为不完全强直收缩；如果下一次刺激发生在上一次收缩的收缩期，骨骼肌会一直处于收缩状态而没有舒张直至刺激结束，这样的刺激曲线呈平滑上升状，此为完全强直收缩。

10. 何为临界融合刺激频率?

答：对神经肌肉施加连续的最大刺激时，肌肉的收缩形式取决于刺激频率。刺激频率太低，刺激时间间隔过长，各个刺激只会引起肌肉产生一个单收缩。当逐步增加刺激频率，刺激时间间隔缩小，各个刺激引起的收缩过程逐步融合。当刺激频率增加到某一临界值时，后一个刺激引起的收缩落在前一次收缩的收缩期内，使得肌肉处于强有力的持续收缩状态，而不出现舒张，此为完全强直收缩。这种引起完全强直收缩的最低刺激频率称为肌肉收缩的临界融合频率。由于不同肌肉单收缩持续的时间不同，因此临界融合频率也各不同。当刺激频率超过临界融合频率时，肌肉强直收缩的幅度不会再增加。

11. 制备坐骨神经-腓肠肌标本时应注意些什么?

答：制备蛙或蟾蜍坐骨神经-腓肠肌标本，操作时应注意：

(1) 破坏脑和脊髓要完全。先用刺蛙针毁脑，再毁脊髓，待四肢松软和呼吸停止，表示脑脊髓已被完全破坏；

(2) 穿刺脑脊髓前可先用布夹捏头部两侧大的耳后腺以排出分泌物，避免蟾酥溅入眼内；

(3) 剥皮后须清洗手及用过的器械并擦干，将标本置于盛有任氏液的玻璃杯中，切不可用自来水冲洗标本；

(4) 分离标本只能用玻璃分针，不可用金属器械或手触摸；

(5) 分离神经时，切勿伤及神经干及其分支，避免过度牵拉和其他不良刺激；

(6) 用剪刀正中平分脊柱时，注意不要伤及神经干；

(7) 跟腱的扎线应扎紧，以防滑脱；

(8) 为便于固定标本，股骨的保留长度以1cm左右为宜，需用粗剪刀将骨表面的肌肉刮净，如骨过粗时，可斜向修剪；

(9) 制备标本过程中，要经常滴加任氏液，保持湿润，以防止干燥；

(10) 标本制成后，用锌铜弓或中等强度电流单个刺激标本，当证明标本的兴奋性

良好后置于任氏液中浸泡 10～15min，待其兴奋性稳定后再进行实验；

(11) 提取标本时，手提跟腱结扎线或用镊子夹住股骨断端，不要直接夹持牵拉标本。

12. 制备坐骨神经-腓肠肌标本时常出现什么问题？如何解决？

答：(1) 穿刺脑脊髓后动物仍有呼吸，且部分肢体仍有活动，表示破坏不完全。解决的办法是：用刺蛙针再次破坏脑脊髓，在颅腔及脊髓腔内反复作前后左右多方位的捣毁即可。

(2) 误伤神经。避免方法是：①平分脊柱时，先在耻骨联合正中剪开，将髂骨掰向两侧，从背位剪去突起的骶骨，然后从正中剪开脊柱；②剪除梨状肌及其周围结缔组织或游离坐骨神经干时，需借助玻璃分针辨清神经干及其分支后再操作；③剪除大腿肌肉时，需将已游离的神经搭在腓肠肌上，当剪除小腿时，应将神经及已游离的腓肠肌移向股骨侧；④避免用力牵扯标本。

(3) 制备好的标本发生自发性地收缩。其原因多种多样，解决的办法有：①剥皮后立即洗手并将用过的器械洗净擦干，不用手或金属器械接触标本；②肌动器（肌槽）也应洗净；③排除刺激器漏电或各种电磁干扰，保证仪器接地良好；④标本在任氏液中浸泡 10～15min，待其兴奋性稳定后再进行实验。

13. 如何判断制备的坐骨神经-腓肠肌肉标本的兴奋性？

答：生理学实验中判断神经肌肉标本兴奋性常用方法有：①锌铜弓刺激。将锌铜弓的锌片及铜片用任氏液润湿后，接触坐骨神经可引起腓肠肌一次明显而迅速的收缩，表示标本兴奋性良好；②中等强度单个电刺激神经一次，可引起肌肉一次明显的收缩，表示标本兴奋性良好。

14. 锌铜弓为什么可以检测神经肌肉的兴奋性？

答：将一锌片及一铜片的一端相连接，而另一端分离所制成的弓状或镊子状实验用具称为锌铜弓。将锌铜弓的游离端浸在电解质溶液中时，锌片表面形成内负外正的双电层，在铜片表面形成内正外负的双电层。它们与溶液之间均产生电位差（电极电位）。在锌与铜接触处，电流按铜→锌方向流动，在溶液中电流方向为锌→铜。当锌铜弓的两游离端接触表面湿润的神经或肌肉组织时，电流便沿锌→组织→铜的方向流动而在阴极（铜片处）引起一次组织兴奋，当移开的瞬间，电流方向相反则在阳极（锌片处）又引起一次组织兴奋。由于神经兴奋的电刺激阈值甚小（约 10^{-8}A），而锌铜弓接触组织时产生的电流强度较大，足以构成对神经肌肉的有效电刺激，因此锌铜弓常被用作检验神经肌肉标本兴奋性的简便刺激装置。使用时，用少许任氏液湿润，其间不可夹有很多溶液，以免短路。手与金属片间应绝缘。

15. 剥去蟾蜍皮肤后为什么要立即洗手和清洗所用器械？

答：在进行破坏蟾蜍脑脊髓，剪去头部、内脏以及剥皮过程中，操作者的手和器械上会沾染蟾蜍的皮肤分泌物、血液及污物等。这些物质接触神经肌肉组织时，会对组织产生一定的损伤和刺激作用。以致影响神经肌肉标本的兴奋性。因此，剥皮后须立即洗手，将所用器械洗净、擦干，然后用任氏液湿润后继续进行随后的各项操作。

16. 剥皮后的神经肌肉的标本有血液能用自来水冲洗吗？为什么？

答：任氏液是两栖类动物实验常用的生理盐溶液，含有组织正常生命活动必需的营

养物质和电解质，其渗透压和酸碱度也与动物体液相似。因此，用任氏液冲洗标本不会影响组织的兴奋性；而自来水是低渗液，其理化性质与任氏液截然不同，用它来冲洗标本会改变组织细胞的理化环境，使标本的兴奋性减小。因此，不能用自来水冲洗标本上的血液。

17. 为何神经肌肉标本中肌肉收缩随刺激强度的增加而增加？

答：单根神经纤维或肌纤维对刺激的反应是“全或无”式的。但在神经肌肉标本中，则表现为在一定范围内肌肉收缩的幅度同神经刺激的强度成正比。因为坐骨神经干中含有数十万条粗细不等的神经纤维，其兴奋性各不相同。弱刺激只能使其中少量兴奋性高的神经纤维先兴奋，并引起它所支配的少量肌纤维收缩。随着刺激强度逐渐增大，发生兴奋的神经纤维数目逐渐增多，它所引起收缩的肌纤维数目也增多，结果肌肉收缩幅度随刺激强度的增加而增强。当刺激达到一个最适强度时，神经干中全部神经纤维兴奋，它们所支配的全部肌纤维也都发生兴奋和收缩，从而引起肌肉的最大收缩强度。此后，若再增加刺激强度，肌肉收缩幅度将不再增加。

18. 引起肌肉收缩的阈刺激、阈上刺激和最大刺激的含义是什么？

答：阈值是衡量组织兴奋性大小的客观指标之一。腓肠肌由许多肌纤维组成，各种肌纤维兴奋性不尽相同，同时支配这些肌纤维的运动神经纤维的兴奋性也不尽相同。在实验中，固定刺激持续时间和强度变化率，而只改变刺激强度时，以单个电刺激直接或通过刺激神经间接刺激腓肠肌时，刚刚能引起肌肉最小收缩反应时的刺激强度称为阈强度（或阈值），刚刚达到阈强度的刺激称为阈刺激。随着刺激强度增加，肌肉收缩相应地逐渐增强。强度超过阈值的刺激称为阈上刺激。当刺激强度增大到某一最适强度时，肌肉发生最大收缩反应，此时，具有上述最适强度并引起肌肉最大收缩的刺激称为最大刺激。

19. 连续电刺激神经，为何容易产生肌肉疲劳的现象？

答：在体骨骼肌反射性收缩产生的疲劳现象，是由于反射中枢内发生突触传递疲劳所致，称为中枢性疲劳。离体神经肌肉实验中，给神经连续的最大电刺激引起肌肉持续强直收缩一段时间后，肌肉收缩幅度会逐渐减弱以致消失，即发生肌肉疲劳。疲劳的原因是神经骨骼肌接头处兴奋的传递发生了抑制，故称为传递性疲劳。它并非发生在肌肉本身，因为此时直接刺激肌肉仍可引起良好的收缩反应；也不是发生在神经，因为神经纤维的兴奋及传导具有较大的相对不疲劳性，且可通过仪器记录出神经对刺激的反应（动作电位）。另外，肌肉连续收缩不断消耗能量又得不到及时补充，以及代谢产物的堆积也会促成疲劳。

20. 金属器械碰压或损伤神经与腓肠肌，可能引起哪些不良后果？

答：可能使神经疲劳，在实验过程中，如果神经对刺激反应不明显，则难以观察到理想的效果。

21. 从刺激开始至肌电出现，标本内部发生了哪些变化？

答：（1）兴奋在坐骨神经干上的产生和传导：坐骨神经干受到阈上电脉冲刺激，受刺激部位产生动作电位，沿神经干不衰减地传递到支配腓肠肌肌纤维的运动神经末梢。

（2）神经肌肉接头兴奋传递：当神经冲动传导到突触前膜终末时，在极短时间内，数百个突触小泡同时破裂，释放出 ACh，经过突触间隙扩散至终膜，与其上胆碱结合，

引起受体蛋白质构型改变，继而终膜对 Na^+ 等离子的通透性改变，导致终膜去极化，即产生终板电位。

(3) 肌细胞兴奋的产生：终板电位作为一种局部电位以电紧张的方式扩布到终板膜周围的肌细胞膜，使这些肌细胞也发生去极化，并且达到阈电位水平，发生去极化，肌细胞产生动作电位。

神经末梢兴奋（接头前膜）发生去极化→膜对 Ca^{2+} 通透性增加→Ca^{2+} 内流→神经末梢释放递质 ACh→ACh 通过接头间隙扩散到接头后膜（终板膜）并与 N 型受体结合→终板膜对 Na^+、K^+（以 Na^+ 为主）通透性增高→Na^+ 内流→终板电位→总和达阈电位→肌细胞产生动作电位。

在神经-肌肉标本中经历了兴奋在神经纤维上的产生、传导，在神经-肌肉接头处的传递，肌细胞兴奋的产生、兴奋的传导、兴奋-收缩耦联及肌丝相对滑行等一系列生理过程。

22. 从肌电至肌肉收缩之间，肌肉内部又有哪些生理活动？

答：(1) 兴奋-收缩耦联：①兴奋通过横管传导到肌细胞深部；②横管的电变化导致终末池释放 Ca^{2+}；③肌肉收缩后被回摄入总管系统。

(2) 肌丝相对滑行：①横管的电变化促使终末池释放 Ca^{2+}；②肌钙蛋白的构象变化使得原肌球蛋白也发生相应改变；③肌动蛋白的作用位点一经暴露，横桥端部的作用位点便有可能立即和它结合，同时横桥催化 ATP 水解；④横桥一经和肌动蛋白结合，立即向 M 线方向摆动，细肌丝在粗肌丝之间滑行，被拉向 A 带中央。

23. 分析神经兴奋、肌肉兴奋与肌肉收缩有何不同？

答：神经兴奋：指的是神经冲动的产生，出现动作电位。即当刺激强度达到阈值时，Na^+ 发生再生式内流，之前膜的极化不仅完全消失，而且还倒转，产生动作电位。

肌肉兴奋：指的是终板电位扩布到终板膜周围肌细胞膜，使得这些细胞膜也发生去极化，达到阈电位水平，肌细胞产生动作电位。

肌肉收缩：指的是细肌丝在粗肌丝之间的滑行，反复将由 Z 线发出的细肌丝推向 A 带的中央，使得 Z 线相互靠拢，肌小节长度变短，于是出现整个肌细胞乃至整块肌肉缩短。

24. 神经干动作电位图形为什么不是“全或无”的？

答：神经干是由许多神经纤维组合而成的，所以在神经干上所记录到的动作电位是许多神经纤维上的动作电位的复合，或称复合动作电位。单根神经纤维对外加刺激是按“全或无”性质反应的，但这些纤维的兴奋阈值、传导速度均不相同。当神经干受刺激时，由于各条神经纤维所受到的刺激强度及其本身的兴奋性都不完全相同，不同的刺激强度将引起不同数量的神经纤维发生兴奋冲动。所以在一定范围内，复合动作电位的幅度将随刺激强度的变化而变化。“全或无”定律只是针对单一神经纤维而言，对于一根神经包含有多条神经纤维的情况则不同。

25. 测量出来的神经干复合动作电位幅值和图形为什么与细胞内记录的不一样？

答：坐骨神经干是由许多不同类型的神经纤维组成，所以神经干的动作电位是复合动作电位，是很多神经细胞动作电位的综合表现，因此与细胞内记录的不一样。

26. 神经干动作电位为什么是双相的？标本在两个引导电极之间损伤后，为什么动

作电位变为单相？单相的动作电位形状与双相动作电位有何不同？为什么？

答：将两个引导电极置于神经干的表面记录神经干动作电位，实际上记录的是两个引导电极下方膜表面的相对电位变化。当两个电极下方膜表面电位存在电位差时，就可以记录到偏离基线的电位曲线。在静息状态下，两个引导电极之间没有电位差，记录出的是一条水平线。当神经干的一端受到刺激时，所产生的动作电位首先传导到引导电极A的下方，A部位膜的外表电位为负电位，而B下方仍为正电位，两个引导电极之间就出现了电位差，因而电流从B流向A，于是记录到第一个向上的波形。当动作电位的负电波传到B时，如果A和B两个引导电极下方的电位处于同等去极化状态，电位差又为零，则波形下降到基线水平。当A的膜电位完全复极化，而引导电极B下的膜仍然处于去极化状态时，两个电极之间又出现了电位差，此时的电流方向则是从引导电极A流向引导电极B，因此可以记录到第二个向下的波形。当B下方的膜完全复极化，则A、B两个引导电极之间的电位差又消失。则重新记录出一条水平线，所以记录到的动作电位为双相波形。

在两个引导电极之间损伤标本后，只出现上述四个过程中的前两个，故动作电位变为单相。单相的动作电位只有上相，其形状与双相是有明显区别的，单相动作电位与原来动作电位的上升相也是有一些区别的，表现为电位的下降支下降速度缓慢，电位的持续时间延长。如果原来两个引导电极之间的距离增大，还会出现单相动作电位的幅度也略有增大。这需要从单相动作电位的形成原因上来考虑。上升相的上升支幅度是由电极A下方膜反极化形成负电位造成的，如果电极B距离电极A过近，就有可能使电极A反极化，而尚未达到最大程度时电极B下方的膜就变为负电位。这势必使上升支的幅度在没有达到最大时就被迫快速减小，使上升支的高度有所降低。电极A下方的膜在复极化形成上升相的下降支时，则完全不受电极A处膜电位的任何影响，是自然复极化使电位的曲线回到基线水平的。当将两个电极之间纤维的兴奋传导能力完全阻断以后，引导电极B下方的膜就不再发生兴奋，也不会影响电极A下方的膜，因此单相动作电位的波宽就会有所变宽。

27. 神经干动作电位的上、下相图形的幅值和波形宽度为什么不对称？

答：当两引导电极距离较近时，在第一个引导电极处发生兴奋后还没有恢复到初始状态时，第二个引导电极处就发生兴奋，造成上、下相图形的幅值和波形宽度不对称。

28. 如果将神经干标本的末梢置于刺激电极一侧，从中枢端引导动作电位，图形将发生什么样的变化？为什么？

答：由于末梢端的神经纤维比中枢端的少，电刺激引起兴奋的纤维数量也比较少，因此图形的幅值将会减小。

29. 如果改变两个引导电极之间的距离，观察双相动作电位的图形会发生什么样的变化？

答：当两个引导电极之间的距离增大后，动作电位图形的上升相幅度将有所增大，特别是上升相的波宽将有所增宽，下相的幅值也将有所增大。原因是兴奋在两个引导电极之间传播的时间增大了，在此期间第一个引导电极处较多的回到正常状态。当两个引导电极之间距离减小，同理可知下相的幅值减小。

30. 如果将引导电极距离刺激电极更远一点，动作电位的幅值会变小，这是兴奋传导的衰减吗？

答：不是兴奋传导的衰减。这是因为神经干末梢端纤维数量减少的缘故。

31. 什么是绝对不应期和相对不应期？

答：不应期分为绝对不应期和相对不应期。

绝对不应期：如果神经纤维的某处受到刺激并产生了动作电位，那么在其后的一段时间内，此处膜上的钠通道将处于完全失活状态，所以这时任何强度的刺激都不能使该纤维产生任何水平的去极化反应。这一时期称为绝对不应期。

相对不应期：在这一时期，神经纤维已开始复极化，这时如果给神经纤维一个阈上刺激，就有可能引发一个新的动作电位，但由于其膜上仍有相当数量的钠通道没有“复活”，所以其幅值还是会低于正常。

32. 刺激落到相对不应期内时，其动作电位的幅值为什么减小？

答：在相对不应期内，钠离子通道关闭，钾离子外流。在此时给予刺激，钠离子的去极化作用被钾离子的复极化作用抵消了一部分，因此其动作电位的幅值减小。

33. 为什么在绝对不应期内，神经对任何强度的刺激都不再发生反应？

答：处在绝对不应期的细胞，阈刺激无限大，表明失去兴奋性，所以任何强度的刺激都不再发生反应。

34. 绝对不应期的长短有什么生理学意义？

答：不同细胞的绝对不应期时间长短不同，神经和骨骼肌细胞大都不会超过 2ms，骨骼肌细胞略大于神经细胞。从时间上说，神经纤维的绝对不应期终止于其动作电位的锋电位后期，大体上与锋电位的持续时间相当。

细胞兴奋后存在绝对不应期具有很重要的生理学意义。由于细胞兴奋以后总是存在一段短暂的绝对不应期，这就使得在已存的动作电位期间绝不能再产生新的兴奋或动作电位。绝对不应期的存在，意味着不论细胞受到多么高频率的连续刺激，锋电位永远也不会发生波形的总和而融合。作为刺激信息单位的锋电位永远是各自分离的，永不产生波形的融合，其传导方式永远是独立“脉冲”式的，这对于保证信息传导的准确性是极为重要的。此外，绝对不应期时间的长短，也决定了细胞在单位时间内可以产生动作电位的最高频率。

在心室肌细胞，其绝对不应期持续 200ms 以上，相当于骨骼肌的 100 多倍，从时间上说大体上相当于心室肌细胞收缩曲线的整个收缩期和舒张期，这是造成它不能形成完全强有收缩的根本原因。这一特性对于需要收缩和舒张交替活动才能完成射血的心脏来说，其生理学意义是不言而喻的。

35. 假如有一个神经的绝对不应期为 2ms，那么这一神经每秒钟内最多可以发放多少次神经冲动？

答：理论上来说，总发放神经冲动的次数为：1000/2＝500（次）

36. 仪器的“延时”按钮有什么含义？

答：我们使用的这种仪器是从示波器“进化”来的，所以它同样需要一个水平方向上的扫描电压，而这也是刺激电压提供的，所以为了避免出现波形缺损的情况，我们需要设置延时。

37. 这样测定出来的神经传导速度是神经干中那类纤维的兴奋传导速度？为什么？

答：蛙类的坐骨神经干属于混合类神经，其中直径最大的有髓纤维为 A_α 类纤维，为传导速度最快的一类纤维，故所测的为此类纤维的传导速度。

38. 为什么两对引导电极相距越远，测定出的神经纤维兴奋传导速度就越准确？

答：(1) 神经冲动有一定的长度，在神经冲动所在部位的前、后缘都将产生局部电流，若两对引导电极距离太近，第二对引导电极所引导的动作电位尚在第一个动作电位的时程内，两个动作电位波形将会发生部分重叠，影响测量精度。

(2) 蛙类坐骨神经为混合神经，包含的纤维有粗有细，传导速度也各不相同。若两对引导电极过近，则各纤维间传导速度的差别不能被明显地显示出来，若两对引导电极间距离有足够长，则传导速度的不同便可通过动作电位的下降相所出现的波形凸起（相当于后电位的部位）表现出来，否则第二个动作电位将会与第一个动作电位的波形凸起（传导速度较快的纤维的动作电位）重叠，从而影响测量精确度。所以，如用两对引导电极测量其传导速度时，两对引导电极间距离应尽量远些。

39. 两个引导电极的极性可以随便调换吗？为什么？

答：如果希望得到的波图是上相在前，下相在后，那么就必须把正极接在距离中枢更远的一端，因为只有正极电势比负极高的时候仪器才会显示正值，而一开始由于前方电极处于神经干的去极化，后方电势则是高于前方的。

40. 刺激伪迹是如何产生的？有何意义？如何鉴别刺激伪迹与神经干动作电位？

答：伪迹是刺激电流沿神经干表面的电解质液传导到记录电极下而被引导、放大出来的电信号。由于电流的传导速度接近于光速，所以，伪迹也几乎与刺激信号同时出现。伪迹可以作为刺激的标志，用来观察潜伏期的长短。如果刺激伪迹过大，则会影响动作电位的观察，故较理想的伪迹应小而清晰，不影响动作电位的观察。

伪迹与动作电位对比

伪　迹	动作电位
先出现	后出现
刺激强度增大，伪迹也随之增大	仅在一定范围内其振幅可随刺激强度增大而增加
改变刺激信号的极性，伪迹的位相亦随之改变	改变刺激信号极性，动作电位的位相不变
调节可变电阻器，可改变伪迹大小	调节可变电阻器，动作电位不变

41. 什么是动作电位的“全或无”法则？

答：如果刺激未达到阈值，则不能引起动作电位；而动作电位一经阈刺激或阈上刺激引起，其幅度便具有最大值，不受刺激强度的影响。

42. 实验中的记录电极都是放在神经的外表面。该如何记录轴突的静息电位？

答：用玻璃微电极刺入细胞中测量或使用枪乌贼等的巨轴突。

43. 描述神经处于静息电位时轴突的通透性，以及动作电位产生过程中膜的通透性。描述动作电位产生过程中离子移动的方向和性质。

答：(1) 静息电位时细胞膜主要对 K^+ 有通透性，同时对 Na^+ 也有极小的通透性。静息电位主要是 K^+ 平衡电位。

(2) 刺激改变了膜对离子的通透性，使静息时膜只对 K^+ 有通透性变为主要对 Na^+

具有通透性。再加上静息状态下，Na^+ 具有很强的电化学驱动力（膜内负电位对 Na^+ 的吸引及 Na^+ 由于浓度差具有的推动力）于是 Na^+ 快速内流而产生强大的内向电流，使膜快速去极化而达到超射值（Na^+ 平衡电位）。

（3）当膜电位达到某个临界值即阈电位时，即可触发动作电位。达到阈电位意味着此时 Na^+ 的跨膜内流量将大于 K^+ 外流的量，此时膜的去极化将不再是刺激依赖性的，去极化会使 Na^+ 的电导增加，即更多的 Na^+ 通道开放，Na^+ 内流加速，由此发生的去极化会进一步增加 Na^+ 电导从而形成一种正反馈过程或再生性去极化。由此，在极短的时间 Na^+ 内流大大超过了 K^+ 外流，产生大幅度的去极化直至达超射值，从而形成动作电位曲线的上升支。此后，Na^+ 通道迅速失活关闭，而此前激活较慢的 K^+ 通道此时占主导地位，把细胞外的 K^+ 运回细胞内，使膜恢复静息时的极化状态，即复极化，该过程表现为动作电位下降支。

44. 单一神经轴突如何编码感受刺激的强度？在完整的神经系统中，轴突群（一根神经）通过什么其他方式来编码刺激的强度？

答：（1）单一神经轴突通过改变动作电位的频率来编码感受刺激的强度。

（2）在完整的神经系统中，除了动作电位频率变化外，参与形成动作电位的神经纤维数目也能用于编码刺激的强度。

第五章　血　　液

1. 在红细胞计数过程中，哪些因素可能会影响准确性？

答：（1）取样时样品不纯洁，掺杂了组织液等其他杂质。

（2）血液加入试管后的均匀程度，此时要充分并且轻缓地摇匀试管，避免血细胞的不均匀或是被破坏。

（3）计数室内的血细胞分布是否均匀，如果发现各中格的红细胞数目相差 8 个以上，就要重新稀释摇匀后计数。

（4）混悬液滴入计数室时，液量要适当。若混悬液过量，盖玻片浮起，计数不准；若一次滴入过少而多次滴入，则可能混入气泡。

（5）放置时间过长，或者由于抗凝剂的用量不足或者忘记加入抗凝剂，血液在计数前已经出现了凝血现象等。

（6）血液与稀释液没有混合均匀，或者取样部位不合适，导致计数结果有误差。

（7）没有熟练的掌握血细胞计数方法，计数产生人为因素的偏差。

2. 人体白细胞，红细胞和血小板的正常参考值是多少？

	男	女
红细胞	（4.0～5.5）$\times 10^{12}$ 个/L	（3.5～5.0）$\times 10^{12}$ 个/L
白细胞	（4.0～10.0）$\times 10^{9}$ 个/L	
血小板	（100～300）$\times 10^{9}$ 个/L	

3. 各种血细胞的基本功能是什么?

答:红细胞主要功能是运输 O_2 和 CO_2,此外红细胞含有多种缓冲对,对血液中的酸碱物质有一定的缓冲作用。

各类白细胞均参与机体的防御功能。中性粒细胞是血液中主要的吞噬细胞,吞噬入侵的细菌并清除之,此外还可吞噬清除衰老的红细胞和抗原-抗体复合物等。单核细胞也隶属于吞噬细胞,可合成释放多种细胞因子。嗜酸性粒细胞、嗜碱性粒细胞和淋巴细胞则主要实行免疫功能。

血小板主要功能为维持血管壁的完整性,参与生理止血。

4. 为什么在获取活细胞进行细胞培养的科研实验或在医学临床上需要使用各种生理溶液?

答:因为使用等渗且等张的溶液将细胞置于其中,才能维持细胞的形态,大小和生理活性。生理溶液具备以上条件。

5. 产生渗透性溶血和化学性溶血的机制有什么不同?

答:渗透性溶血是指红细胞处于低渗溶液之中而导致水分过多进入红细胞使细胞膜膨胀破裂,使血红蛋白释出。

化学性溶血为酸碱等有机溶剂使红细胞膜发生溶解或破坏,血红蛋白释出的过程。

6. 红细胞稀释液成分及其主要作用是什么?

答:红细胞稀释液成分为:NaCl 0.5g,Na_2SO_4 2.5g,$HgCl_2$ 0.25g,加蒸馏水至100mL。NaCl 用以维持渗透压,保持红细胞形态;Na_2SO_4 可增加溶液比重,使红细胞均匀分布不易下沉;$HgCl_2$ 起固定红细胞和防腐作用。但当病人血浆球蛋白明显增高时,$HgCl_2$ 可使球蛋白沉淀致使标本混浊而影响计数。此时可改用生理盐水代替红细胞稀释液,但应及时计数,以免因部分衰老红细胞溶解而使计数偏低。需要提出的是,此稀释液本身并不破坏白细胞,故白细胞数也计算在内。但由于正常人血液中红、白细胞之比约为750∶1,加之血液又稀释200倍,故白细胞的干扰可忽略不计。

7. 使用血红蛋白吸管采血时,应如何操作?

答:采血时,右手持吸血管,拇指和中指轻轻捏扁吸管的橡皮乳头,食指轻轻堵住橡皮乳头顶端的小孔。吸管与皮肤呈45°,将吸管尖端插入血滴中,捏橡皮乳头的拇指轻轻放松,让血液缓缓吸进吸管内,待达到规定刻度时,将右手食指从橡皮乳头的孔口移开,并立即使吸管呈水平位置,以免吸管内血液流出。特别要注意的是拇指不要猛然放松吸管橡皮乳头,以免吸入的血液超过吸管规定刻度,甚至流入橡皮乳头内。采血结束后用干棉球擦去吸管下端管壁外面的血液,如吸入的血液略为超过刻度,可用干棉球轻触管口,以虹吸作用移去多余的血液,使达到规定的刻度。

如果第一次采血不足,需要再次采血时,应将吸管尖端再次插入血滴中,拇指稍稍加压橡皮乳头将第一次吸入管中的血液稍挤出一点,然后再吸血至刻度处。这样可以避免吸管内出现气泡和采血量不足。

8. 采血时,如果发生管内凝血,应如何处理?

答:采血时,由于操作不熟练、采血量不足再次采血而延长采血时间等原因,均可使吸管中的血液发生凝固。此时,应立刻用蒸馏水反复冲洗。凝血被清除后,按常规处理吸血管,然后重新采血。如果经上法处理,凝血块仍不能清除,则换一根吸血管采

血。而原来的吸血管应立即放入1%氨水中，使血块溶解后，再清洗，绝对不允许用细铜丝或针头去通，以免损坏吸管。

9. 清洗血红蛋白吸管时，为何先用蒸馏水洗，再用95%酒精洗，最后用乙醚洗?

答：蒸馏水可以清洗吸血管内存留的稀释液或血迹；95%酒精可清洗附着于管壁的水分并有一定的干燥作用；最后用乙醚清洗，是因乙醚极易挥发，可加速吸管的干燥。

10. 计数板的应用和处理应注意些什么?

答：(1) 计数板为玻璃制品，在操作和洗涤时应加小心，以防损坏。

(2) 洗涤计数板时，应先用蒸馏水或自来水冲洗，然后用软绸布轻轻吸干，严禁用酒精、乙醚洗涤计数板；也不要用纱布、棉球揩拭计数板。用软绸布拭擦盖玻片时，动作应轻柔，以防损坏。

(3) 不要用手指触摸计数板的计数室平面及盖玻片。放置玻片时，用手指捏住盖玻片的两边，将它放在计数板的计数室上。

(4) 向计数室充液时，将充分混匀的血细胞稀释液在盖玻片与计数室交接处滴一小滴，通过毛细管虹吸作用自然地引入计数室内。充液量应适中，如充液过多，则可溢出而流入计数室两侧深槽内，还可使盖玻片浮起，致使血细胞计数结果不准；若充液过少，再反复充液，极易造成气泡进入计数室内。遇到上述情况，均应重新操作。

(5) 充液后应静置2～3min，待血细胞沉降稳定后再计数，否则会产生计数误差。

(6) 计数时，首先在低倍镜下辨清计数室的大、中、小各种方格，然后观察细胞分布是否均匀。白细胞用低倍镜即可直接计数，而红细胞需在高倍镜下计数。用高倍镜观察时，只能使用微调，以防压碎盖玻片。在显微镜下注意区别白细胞与杂质，前者呈圆形透亮，可隐约见到细胞核；后者多无固定形状，也不见细胞核。

(7) 计数血细胞时，应按一定次序进行，一般按自左向右数到最后一格，下移一行则自右向左，再下移一行又自左向右，最后一行再自右向左之顺序计数。对于分布在划线上的血细胞则可计数方格中的左边线上和上方线上血细胞，而不计数方格中的右边线上和下方线上的血细胞，即“数上不数下，数左不数右”。

11. 何谓红细胞渗透脆性和渗透抵抗力?

答：红细胞置于低渗溶液中，水分子由细胞外向细胞内扩散，有可能使细胞破裂而发生溶血。红细胞在低渗溶液中发生破裂、溶血的特性，叫做红细胞渗透脆性；红细胞在低渗溶液中不发生破裂、溶血的能力，叫做红细胞的渗透抵抗力。显然，红细胞的渗透脆性大，表示它对低渗溶液的抵抗力小，反之亦然。

12. 测定红细胞渗透脆性的原理是什么?

答：红细胞置于NaCl溶液中，由于细胞膜的生物特性，它对水的通透能力比对Na^+和Cl^-的通透能力大得多。当红细胞置于低渗NaCl溶液中因细胞内渗透压高于细胞外的渗透压，根据半透膜的渗透原理，水分子将从细胞外进入细胞内，使红细胞体积增大，由双凹圆盘形变成椭圆形、甚至球形。红细胞膜具有一定的伸展性和弹性，即对低渗溶液具有一定的渗透抵抗力。当红细胞膜的渗透抵抗力大于或等于低渗溶液造成的水分子内流形成压力时，红细胞膜不会破裂，仅表现为细胞肿胀。当红细胞膜的渗透抵抗力小于低渗溶液造成的水分子内流形成的压力时，红细胞将发生破裂。根据上述原理，我们可以将被检红细胞放置在不同浓度的低渗的NaCl溶液中，观察红细胞的破裂

情况，来测定红细胞膜对低渗溶液抵抗力的大小，有助于对某些溶血性疾病的诊断。

13. 怎样判断红细胞在低渗溶液中完全溶血、部分溶血与不溶血？

答：红细胞置于低渗盐溶液中，由于水进入细胞内，细胞发生肿胀、破裂，血红蛋白逸出，即发生溶血。血红蛋白呈暗红色，且水溶性好，故溶血后的溶液为红色透明状。在红细胞脆性试验中，可以根据管中溶液的颜色、透明度及有无完整红细胞等特性作为判断溶血程度的指标。

红细胞渗透脆性试验

溶血程度	溶液色泽	管底红细胞	镜观下层液
完全溶血	红色透明	无	仅见影细胞，即红细胞空壳
部分溶血	上层红色透明，下层淡红混浊	少许	可见完整红细胞与影细胞
未溶血	红色混浊	有	见完整红细胞

14. 测定红细胞脆性时，应注意什么？

答：(1) 本实验为定量实验，所以，配制不同浓度的 NaCl 溶液时应力求准确。

(2) 为避免人为地造成红细胞破裂，而出现溶血假象，应注意：抽取静脉血液速度应缓慢；向试管滴加血液应尽可能靠近液面，使血滴轻轻滴入溶液中；血液滴入溶液后，轻轻摇匀溶液，切忌剧烈振荡。

(3) 应在血液与溶液混合 1h 后，于光线明亮处观察结果。必要时吸取试管底部悬液一滴，滴在玻片上，显微镜下比较红细胞的大小和形态。

15. 何谓红细胞的最大脆性和最小脆性？如何判断？正常值一般是多少？

答："脆性"是指红细胞在低渗盐溶液中破裂的特性。刚能引起部分红细胞破裂的低渗溶液浓度代表了红细胞的最大脆性，此时，仅渗透脆性大的红细胞出现破裂、溶血，而渗透脆性小的红细胞尚未破裂。正常人红细胞的最大脆性一般在 0.40%～0.45%NaCl 时。使全部红细胞破裂、溶血时的低渗溶液浓度代表了红细胞的最小脆性，此时，不仅渗透脆性最大的红细胞发生破裂、溶血，而且渗透脆性最小的红细胞也都破裂、溶血。正常人红细胞的最小脆性一般在 0.30%～0.35%NaCl 时。

第六章　循　　环

1. 分析实验结果，P 波早于心房收缩波，QRS 波群早于心室收缩波说明什么？

答：P 波代表两心房的去极化过程，它表示了兴奋在整个心房的传播过程，心肌细胞的兴奋通过兴奋-收缩耦联机制触发心肌细胞收缩。可见心房收缩是在去极化传播过程之后发生的，故 P 波早于心房收缩波；去极化在心室肌内传导时，体表电位变化为 QRS 综合波，同理 QRS 波群早于心室收缩波。这均说明心脏的机械收缩活动与电活动相比存在时间上的滞后。

2. 根据学过的理论，说明心脏发生收缩反应之前的生理过程。

答：心肌细胞的动作电位是触发心肌收缩的原因。

窦房结细胞具有自动发生节律性兴奋的特征，即具有自律性。窦房结发出的兴奋通过心房肌传播到整个右心房和左心房，并迅速传到房室交界区。经房室束和左、右束支

传到浦肯野纤维网，引起心室肌兴奋（各期的特点和离子机制见下表）。心肌细胞兴奋时，通过兴奋-收缩耦联机制，触发心肌细胞收缩。

心室肌细胞动作电位各期的特点

	去极相	复极相			
	0 期	1 期 快速复极期	2 期 平台期	3 期 快速复极期	4 期 （静息期）
电位变化	－90～＋30mV 除极速度快 800～1000V/s 幅度为 120mV	＋30～0mV（0 期与 1 期波形组成锋电位）	基本停滞于 0mV 左右	0～－90mV	膜电位稳定于静息电位（－90mV）
历时	1～2ms	10ms 左右	100～150ms	100～150ms	
离子机制	Na^+ 内流	K^+ 快速外流	K^+ 外流 Ca^{2+} 内流	K^+ 外流	Na^+-K^+ 泵活动，恢复细胞内外离子浓度差

3. 同骨骼肌比较，心肌有什么特性？

答：（1）骨骼肌的运动由躯体神经支配，而心肌则由自主神经控制；心肌细胞间有闰盘结构，使得兴奋能在细胞间快速扩布，并导致心肌的电兴奋有“全或无”的特点，而骨骼肌整体的收缩强度则跟单个细胞的收缩强度以及参与收缩的细胞数目成正比。所以说，心肌能自动产生和传导兴奋，具有自律性。

（2）心肌的复极化相当长，而且有平台期。

（3）心肌的有效不应期特别长，所以不会像骨骼肌一样出现强直收缩的现象。

（4）心肌细胞中终池较少，以二联管居多，故心肌的收缩高度依赖细胞外的 Ca^{2+}。

（5）心肌的静息张力比骨骼肌的大。

（6）心脏中不同部位的心肌有不同的结构和机能，不仅有自律细胞和工作细胞的分化，自律细胞之间的自律性高低不一致，各处心肌的传导速率有差别，收缩时程也不尽相同。它们彼此密切配合，使得心脏能有节律地进行收缩和舒张。骨骼肌自身则没有这种精密的调控机制，其运动主要由神经系统操控。

4. 心肌的不应期较长有何生理意义？

答：心肌每发生一次兴奋过程，随之其兴奋性发生一系列变化，即绝对不应期、相对不应期、超常期。在心肌兴奋的不同时期给予刺激，所产生的反应不同。从心肌收缩开始到舒张早期之间，无论给予多强的刺激，心肌都不会再发生一次兴奋而收缩。这说明心肌的有效不应期较长，几乎相当于心肌的整个收缩期及舒张期的前 1/3。心肌组织的这个特点，使得心肌不会像骨骼肌那样产生完全性强直收缩，保证心肌始终做收缩和舒张相交替的节律性活动，从而使心脏有血液回心充盈的时期，实现心脏的泵血功能。

5. 期前收缩和代偿间歇实验不能用连续刺激，为什么？于心室收缩期或舒张期的早、中、晚分别给予刺激的实验设计思路是什么？

答：由于心脏的收缩是有节律的而且有效不应期长，给予的连续刺激只能落在心室收缩期或舒张期的某个一定的时期内，引发代偿间歇后其余刺激没有作用，而刺激落在哪个时期又很难判断，不能达到测试心室在收缩舒张各时期受刺激后反应的目的。因

此，要在心室收缩期或舒张期的早、中、晚分别给予刺激。

6. 为什么刺激前后要有对照曲线？

答：(1) 前后均存在对照曲线可以明显看出在发生非节律收缩的时候图形发生的差异，起到了对比观察的辅助作用。

(2) 由于电极同心室紧密接触，因此在测量张力的时候会产生一定的误差，特别是施加刺激的时候发生期外收缩之后，电极的影响会因为位置的改变而有所变化，因此刺激前后的对照曲线也起了对照纠正的作用。

7. 在心电与心肌收缩同时记录时为什么要两个通道的扫描速度一致？

答：调节两个通道的扫描速度一致是为了使实验结果具有可比性。

8. 为什么暴露心脏时，要注意尽量不要损伤血管？

答：暴露心脏是本实验的第一步，也是相当关键的一步。心脏能充分暴露，就可以使后续实验顺利进行。然而暴露过程中，如果不充分注意而使血管受到较严重的损伤时，就有可能造成会在实验中因血压不足而出现心脏停跳的现象，导致实验无法继续。

9. 为什么要剪开心包膜并且要相当小心？

答：因为心包膜包裹住心脏，如果不将其剪开则会因其阻隔了蛙心夹与心尖部的直接接触而大大影响实验结果。剪开的时候也要相当小心，因为心包膜贴近心脏，一不小心就会损伤心脏。

10. 分析实验结果，P 波、QRS 波群、心房收缩波及心室收缩波出现的时间顺序如何？说明什么？

答：首先出现的是 P 波，然后是心房收缩波，接着是 QRS 波群，最后出现的是心室收缩波。说明 P 波有可能是心室去极化产生，出现于心室收缩波之前心房收缩波之后的 QRS 波群很可能是由心室去极化产生。

11. 代偿间歇是怎样产生的？期前收缩后一定出现代偿间歇吗？为什么？

答：(1) 心室在有效不应期之后受到来自人工的或病理的（非正常起搏点）异常刺激，可以出现一次提前出现的收缩，称期前收缩（期外收缩）。期前兴奋也有自己的有效不应期，假如在该兴奋之后的一次正常起搏点兴奋传到心室肌时，正好落在期前兴奋的有效不应期内，则不能引起心室兴奋和收缩，形成一次“脱失”，必须等到下次兴奋传到心室时才能引起心室收缩。这样，在一次期前收缩后出现的这样一段较长时间的心室舒张期，称为代偿间歇。

(2) 期前收缩后不一定出现代偿间歇。因为如果在期前兴奋之后的正常兴奋传到心室时落在了期前兴奋的有效不应期之外，则依然会引起心室兴奋和收缩，不出现代偿间歇。

12. 蛙类离体心脏灌流实验说明心肌的哪些生理特征？

答：本实验说明了心肌的自律性、兴奋性、收缩性。

自律性：心肌细胞自律性的高低决定于 4 期去极化的速度，即 Na^+、Ca^{2+} 内流超过 K^+ 外流衰减的速度。

兴奋性：心肌细胞兴奋性决定于 Na^+ 通道的状态和膜内外 K^+ 的梯度差。

收缩性：由实验可知，Ca^{2+} 的浓度直接关系到兴奋收缩偶联的传导，因此心肌细胞的收缩性依赖于 Ca^{2+}。

13. 用实验说明内环境相对恒定的重要意义。

答：当增大灌流液钙离子浓度时，会加大它的入胞，而当心肌细胞内钙离子增大后，以促发动作电位的产生，其兴奋性增强，使得收缩性增大。若灌流液中添加乳酸时，H^+ 与 Ca^{2+} 竞争，会大大减少 Ca^{2+} 入胞，阻碍心肌细胞动作电位和收缩性。当灌流液中增大 K^+ 的浓度时，动作电位受到阻碍，心肌收缩能力减弱，说明内环境的变化可影响细胞器官的正常生理活动。内环境的相对恒定是机体维持正常活动和功能的必要条件。

14. 试分析任氏液中加入适量 Na^+、Ca^{2+}、K^+ 对心肌的影响。

答：细胞外液中钠浓度差梯度的变化一般对心肌活动影响不明显。只有当 Na^+ 的浓度明显增高时，膜内外钠的浓度差梯度增大，因此，快反应细胞 Na^+ 内流加快，0 期去极化速度和幅度均增加，导致传导性和自律性增高。同时，Na^+ 内流的增多促进细胞内 Ca^{2+} 的外运使细胞内 Ca^{2+} 浓度降低，因此，心肌收缩能力减弱。反之，当 Na^+ 的浓度降低，则心肌传导性和自律性降低，心肌收缩能力增强。

细胞外 Ca^{2+} 在细胞膜上对 Na^+ 内流有竞争性抑制作用，称为膜屏障作用。Ca^{2+} 的浓度增高时，Na^+ 内流受抑制，细胞 0 期去极化速度与幅度减小，使兴奋性及传导性均降低。Ca^{2+} 的浓度增高使 Ca^{2+} 内流增多，因此慢反应细胞 0 期去极化加快加强，传导性增高，而快反应细胞平台期缩短，有效不应期缩短，复极加速。Ca^{2+} 内流增多，使心肌收缩能力增强。Ca^{2+} 的浓度降低时，所引起的变化与高钙时相反。

K^+ 轻度或中度增高时，膜内、外 K^+ 浓度差减小，静息电位绝对值减小，与阈电位差距缩短，因此，兴奋性增高。K^+ 显著升高时，由于静息电位绝对值减小过多（膜内达 −55mV 左右），Na^+ 通道失活，因而兴奋性降低甚至消失。另外，还使 0 期去极化速度和幅度减小，传导性降低，导致兴奋传导减慢，甚至传导阻滞。此外，K^+ 增高还可提高膜对 K^+ 的通透性，加速 K^+ 外流，动作电位平台期缩短，因此，不应期缩短。此外由于平台期缩短，减少了 Ca^{2+} 的内流，加上细胞外 K^+ 与 Ca^{2+} 在膜上有竞争性抑制作用，导致心肌收缩功能减弱。

15. 在蛙类离体心脏灌流实验中，为何强调实验中必须保持灌流液面的恒定？灌流量对心脏活动会有什么影响？

答：为了保证实验过程中心肌所受前负荷恒定，而具有一定的初长度，肌纤维的收缩主动张力处在一个比较稳定易于对照的值；灌流量的大小与前负荷的大小相对应，当其处于一定范围内时，随着灌流量的加大，前负荷加大，心肌肌小节的初长度加大，主动张力加大，心脏的搏动增强，反之亦然；当灌流量进一步加大到使心肌过度牵拉的程度，由于心室肌伸展性小能抵抗牵拉的特性，心室功能曲线不出现降支，即心脏收缩强弱变化不大。

16. 试想，活的机体在心交感神经兴奋或心迷走神经兴奋时对心脏会有什么影响？

答：(1) 心交感神经节后纤维兴奋时释放去甲肾上腺素，与心肌细胞膜上的 β 受体结合表现出的作用有：促进自律细胞内向电流 I_f，自律性增高；使房室交界处细胞膜上 Ca^{2+} 通道开放概率和 Ca^{2+} 内流增加，动作电位幅度增大而传导加速；激活 Ca^{2+} 通道使心肌细胞质内的 Ca^{2+} 浓度增加，同时因传导加速使心室肌各部分肌纤维更趋于同步化，使心肌收缩加强，心肌室内压峰值升高。同时，也能促进肌钙蛋白释放 Ca^{2+} 和肌浆网

摄取 Ca^{2+}，加速心室的收缩与舒张，室内压的变化速率加快，有利于心室的充盈与射血；会使血压升高。

(2) 心迷走神经兴奋时释放 ACh ，与心肌细胞膜上的 M 受体结合，提高全部心肌细胞对 K^+ 的通透性，K^+ 外流增加，静息电位增大，故兴奋性降低；自律细胞 K^+ 外流衰减减慢以及最大复极电位增大，使自律性降低；抑制 Ca^{2+} 通道使 Ca^{2+} 内流减少，使房室交界细胞的动作电位降低，传导减慢；抑制 Ca^{2+} 通道和平台期缩短均使心房肌和心室肌细胞内 Ca^{2+} 浓度降低，收缩性降低。刺激心迷走神经可使血压下降。

17. 蛙心插管插入心室时，是在心室舒张期插入还是在心室收缩期插入？为什么？

答：蛙心插管应在心室收缩期插入心室。在插蛙心插管时，当蛙心插管尖端到达动脉圆锥后，可将插管稍稍后退一下，再向左向下作 90°角转弯，选择心室收缩时插入心室腔内。这是因为主动脉开口处有半月瓣，当心室收缩时，半月瓣正好打开，此时，主动脉与心室腔相通，插管容易顺势进入心室。而在心室舒张期，半月瓣处于关闭状态，对插管产生阻力，不利于插入。强行插入易损伤心肌组织。

18. 用蛙心夹夹蛙心时，是在心室舒张期还是在心室收缩期夹住心尖部位？为什么？

答：蛙心夹夹蛙心时，应在心室舒张期夹住心尖部位为好。因为心室舒张时，心肌张力低，心尖容易夹住，而且夹住的心肌组织较少，也不易夹破心室。蛙心本身体积较小，收缩后体积更小，而且心肌张力增加、心尖变圆，蛙心夹不易夹住心肌组织。一旦在心室收缩期夹住心尖，由于被夹组织较多，影响心脏的收缩，也容易夹破心室，造成灌流液外流而影响实验结果的准确性。

19. 离体蛙心制备好后，有时管内液面上下移动很不明显，是何原因？如何处理？

答：离体蛙心制备好后，蛙心插管内的液体应随蛙心室的收缩和舒张活动而上下移动。在心室收缩时，心室容积减小，室内压升高，将心室内的液体压入插管内，管内液面上升；在心室舒张时，心室容积增大，心室内压降低，将插管内液体吸入心室，管内液面下降。但有时蛙心插管内液面波动不明显，常见的原因有：

(1) 插管尖端内有血凝块阻塞，插管内液体不能畅通进出心室。解决方法是：最好用长吸管将血凝块吸出或用细金属丝小心地将血凝块插入心室腔内。为防止血凝块阻塞插管开口，当插管插入心室后，应立即用新鲜任氏液换洗插管内液体数次，直至蛙心颜色变淡，插管内无血液及小血块为止。也可用肝素化的任氏液充灌蛙心插管，可避免插管内血凝块的出现。

(2) 插管尖端不在心室腔内，而在心房或其他部位。此时，应将插管重新插入心室，再结扎固定。

(3) 如果插管进入心室腔内太深，尖端抵住心室壁，也不表现为液面上下移动；此时，可以转动插管方向或将插管稍稍外提，使插管口正好处于心室腔内，且开口正对着液体喷射的轴流方向。

(4) 蛙心收缩活动较弱，不足以使液面产生上下移动。可在蛙心插管内滴加少量药物（肾上腺素），使其活动增强；也可适当加温。

(5) 如蛙心静脉窦、心房搏动良好，心室搏动不明显，这可能是由于在插管过程中房室传导已被损坏，而导致插管内液面上下移动不明显。应另选蛙心重新操作。

20. 实验过程中，为什么必须保持蛙心插管内液面高度的恒定？液面过高或过低会产生什么样的影响？

答：在实验过程中，蛙心插管内液面高度发生变化，心脏收缩曲线会相应发生变化。心肌缩短幅度和速度既受前负荷的影响，也受后负荷的制约。斯氏蛙心插管尖端位于心室腔内，插管内的液体与心室腔直接相通。插管液面高度所产生的压力，在心室舒张末期是作用于心肌的前负荷，此前负荷决定了心肌在收缩之前的初长度。因此，根据 Starling 心肌定律，液面高度的变化将导致心肌收缩强度的改变。心室开始收缩时，插管内液体产生的压力又成为心肌收缩时所承受的后负荷，后负荷改变会使心肌缩的幅度和速度发生变化。

液面过高，心缩曲线幅度降低。过高的液面，使心室前负荷超过最适前负荷，心肌收缩强度不再增加或下降。而过高的后负荷，却使心肌缩短幅度和速度大大下降。液面过低，心室收缩曲线幅度也会降低。前负荷过小，导致心肌收缩强度减小的效应比后负荷减小效应要强。因此实验中应选取最适液面高度，并应保持这一液面高度，以便取得较好的实验结果。

21. 任氏液为何能维持离体蛙心较长时间的跳动？怎样才能延长离体蛙心存活的时间？

答：任氏液的主要离子成分、渗透压、pH 和蛙的血清相似。因为任氏液为蛙心提供了一个适宜的理化环境，所以能维持离体蛙心较长时间的跳动。如果在任氏液里加一些葡萄糖或蛙肝浸出液，并间隔一定时间更换新鲜任氏液，同时，将离体蛙心的大部分浸在任氏液中，小部分与空气接触，放在气温不太高的环境中，这样才能使离体蛙心的存活时间延长。

22. 蛙心灌流时，蛙心心肌以何种方式获得营养？

答：哺乳动物心脏的营养是由冠状动脉提供的，冠状动脉开口于主动脉根部，冠状动脉血流依靠动脉压提供动力。斯氏蛙心灌流法，其插管直入心室，那么蛙心心肌靠什么方式获得营养呢？其实，蛙心心脏没有营养性血管，心肌的营养是通过心脏内膜液体直接渗透而获得的。

23. 为什么在更换新鲜的任氏液后，有时心肌的收缩力会增强？

答：蛙心兴奋、收缩和舒张所需的能量主要来源于有氧氧化。氧由溶解于任氏液中的氧提供，氧化底物则来自于任氏液中的葡萄糖。当溶解在插管内任氏液中有限的氧和底物被逐渐消耗时，由于能量供给减少，心肌收缩强度减弱。同时插管内任氏液灌流时间较长，滞留在灌流液中的心肌代谢产物增多，这些酸性代谢产物对心肌有抑制作用，更换新鲜的任氏液后，氧气和能量供给增加，代谢产物被消除，因此，心肌收缩强度增强。

24. 用 0.65%NaCl 溶液灌注蛙心时，为什么会出现心跳减弱？

答：心肌的收缩活动是由 Ca^{2+} 触发的，由于心肌细胞的肌浆网不发达，故心肌收缩的强弱与细胞外 Ca^{2+} 浓度呈正比。用 0.65%NaCl 溶液灌注蛙心时，由于灌注液中缺乏 Ca^{2+}，以致心肌细胞动作电位 2 期内流 Ca^{2+} 减少，细胞质 Ca^{2+} 浓度减少，心肌的收缩活动也随之减弱。如果长时间用 0.65%NaCl 溶液灌注蛙心，心脏最终会停止收缩，但心肌仍能产生动作电位（即产生兴奋）。这种现象称为兴奋-收缩脱偶联，是心肌细胞

内缺少 Ca^{2+} 的表现。

25. 用高 K^+ 任氏液灌注蛙心，心跳会出现什么变化？为什么？

答：用高 K^+ 任氏液灌注蛙心时，心跳明显减弱，甚至出现心脏停止于舒张状态的现象。因为当细胞外 K^+ 浓度增高时，K^+ 与 Ca^{2+} 有竞争性拮抗作用，K^+ 可抑制细胞膜对 Ca^{2+} 的转运，使进入细胞内 Ca^{2+} 减少，心肌的兴奋-收缩偶联过程减弱，心肌收缩力降低。当细胞外 K^+ 浓度显著增高时，膜内外的 K^+ 浓度梯度减小，静息电位的绝对值过度减小（膜内达 55mV 左右时）。Na^+ 通道失活，心肌的兴奋性完全丧失，心肌不能兴奋和收缩，停止于舒张状态。

26. 滴加 2%的 $CaCl_2$ 后，离体蛙心活动发生什么变化？

答：用高 Ca^{2+} 任氏液灌注蛙心时，可见蛙心收缩力增强，但舒张不完全，以致收缩基线上移。在 Ca^{2+} 浓度较高的情况下，心脏会停止在收缩状态，这种现象称为“钙僵”。

心肌的舒缩活动与心肌肌浆中 Ca^{2+} 浓度的高低有关。当 Ca^{2+} 浓度升高至 10^{-5} mol/L 水平时，作为钙受体的肌钙蛋白结合了足够的 Ca^{2+}，这就引起肌钙蛋白分子构型的改变，从而触发肌丝滑行，肌纤维收缩。当肌浆中 Ca^{2+} 浓度降至 10^{-7} mol/L 时，Ca^{2+} 与肌钙蛋白解离，心肌随之舒张。用高 Ca^{2+} 任氏液灌注蛙心，使得肌浆中 Ca^{2+} 浓度不断升高，Ca^{2+} 与肌钙蛋白结合数量不断增加，甚至达到只结合而不解离的程度，于是，心肌将持续收缩，因而出现“钙僵”。

27. 滴加肾上腺素之后，离体蛙心活动发生什么变化？机理如何？

答：向蛙心插管中滴加肾上腺素后，可见蛙心收缩增强，心脏舒张完全，描记的心搏曲线幅度明显增大。其机理为肾上腺素与心肌细胞膜上的 β 受体结合，提高心肌细胞和肌浆网膜 Ca^{2+} 通透性；导致肌浆中 Ca^{2+} 浓度增高，使心肌收缩增强。

另外，肾上腺素还有降低肌钙蛋白与 Ca^{2+} 亲和力，促使肌钙蛋白对 Ca^{2+} 的释放速率增加；提高肌浆网膜摄取 Ca^{2+} 的速度，刺激 Na^+ 和 Ca^{2+} 交换，使复极期向细胞外排出 Ca^{2+} 的作用加速。这样，将使心肌舒张速度增快，整个舒张过程明显加强。

28. 滴加乙酰胆碱之后，离体蛙心活动发生什么变化？机理如何？

答：向蛙心插管任氏液中滴加乙酰胆碱后，可见蛙心收缩减弱。收缩曲线基线下移，心率减慢。最后，心跳停止于舒张阶段，出现类似高 K^+ 时的变化。

机理为：乙酰胆碱与心肌细胞膜 M 受体结合，一方面提高心肌细胞膜 K^+ 通道的通透性，促使 K^+ 外流，将引起：①窦房结细胞复极时 K^+ 外流增多，最大复极电位绝对值增大；I_k 衰减过程减弱，自动除极速度减慢。这两方面因素导致窦房结自律性降低，心率减慢。②复极过程中 K^+ 外流增加，动作电位 2、3 期缩短，Ca^{2+} 进入细胞内减少，使心肌收缩减弱；另一方面乙酰胆碱可直接抑制 Ca^{2+} 通道，减少 Ca^{2+} 内流，进而使心肌收缩减弱。

29. 查找相关资料，简述迷走神经、交感神经各自通过什么途径影响心脏的活动？

答：(1) 交感神经对心脏活动的生理影响：心交感节前纤维末梢释放的递质是乙酰胆碱，它与节后神经元细胞膜上 N 型胆碱能受体结合引起节后神经元兴奋。心交感节后纤维末梢释放的递质是去甲肾上腺素，当它与心肌细胞膜上 $β_1$ 受体结合时，激活腺苷酸环化酶，使细胞内 cAMP 浓度升高，继而激活蛋白激酶和细胞内蛋白质的磷酸化

过程，导致心率加快，即正性变时、变力、变传导作用。

(2) 迷走神经对心脏活动的影响：心迷走神经节前纤维末梢释放的递质是乙酰胆碱，它与心内神经节的细胞膜上N型胆碱能受体结合而兴奋。心迷走神经节后纤维末梢释放的递质也是乙酰胆碱。节后纤维支配窦房结（哺乳动物）、心房肌、房室交界、房室束及其分支。心室肌也受少量迷走神经纤维支配。左右两侧迷走神经对心脏的作用也有所不同。心迷走神经节后纤维末梢释放的乙酰胆碱，与心肌细胞膜上的M型胆碱能受体结合，抑制腺苷酸环化酶，细胞内cAMP浓度降低，抑制心脏的活动，导致心率减慢、心房肌收缩力减弱、心房肌不应期缩短、房室传导速度减慢，即负性变时、变力、变传导作用，甚至出现房室传导阻滞。

30. 刺激迷走交感神经干时，为什么只显示出迷走效应？在心脏滴加阿托品，心搏为什么发生改变？其机理是什么？

答：蛙的迷走神经和颈交感神经混合成一个神经干，称为迷走交感神经干。一般说来，心迷走神经和心交感神经对心脏的作用是相拮抗的。但当两者同时对心脏发生作用时，在多数情况下，心迷走神经的作用比交感神经的作用占有较大的优势。由于迷走神经的兴奋性较高，因而低频、低强度电刺激迷走交感神经干时，多产生迷走效应；所以一般在刺激交感神经干时只显示迷走效应。只有在高频、高强度刺激时才会表现出交感效应，但交感效应也不明显。

在心脏滴加阿托品时，可封闭迷走神经对心脏的影响，而表现为单纯的交感效应。心迷走神经的节前和节后神经元都是胆碱能神经元，作用于M型胆碱能受体，而心交感神经作用与β型肾上腺素受体。阿托品的主要作用机制是由于阿托品阻断了M型胆碱能受体（心迷走神经节后纤维作用的受体），从而屏蔽了迷走神经的负性变时、变力和变传导作用。因此只表现出单纯的交感效应。

31. 阐述血压正常和发生变化的机理。

答：封闭的心血管系统内有足量血液充盈是形成动脉血压的前提；心室收缩射血和外周阻力是形成血压的两个基本因素。心室收缩所释放的能量是形成血压的能量来源。血液流经小动脉和微动脉所遇到的阻力称为外周阻力，该段血管口径小，是血流阻力最大的部位；此外，大动脉管壁弹性对动脉血压的形成也起到重要作用。

以左心室为例，左心室收缩所释放的能量，一部分作为动能推动血液射入动脉，并向前流动，由于外周阻力的作用，心缩期中仅有一次射血量的1/3流向外周，尚有2/3储存在主动脉和大动脉内，所释放能量的另一部分（势能）形成对动脉管壁的侧压力，并使血管壁扩张。接着，左心室舒张，主动脉瓣关闭而停止射血，被扩张的主动脉和大动脉管壁发生弹性回缩，把心缩期储存的一部分势能转为动能，推动血液继续流向外周，并保持一定水平的舒张压。大动脉管壁弹性则起缓冲收缩压、维持舒张压，并将心室间断射血变为血液在动脉内连续流动的作用。

凡能影响动脉血压形成的因素，都能影响动脉血压。

(1) 每搏输出量：如果其他因素不变，每搏输出量增多，收缩压升高。由于收缩压升高使血流速度加快，流向外周血量增多，到心舒期末存留在大动脉内的血量增加不多，故舒张压不如收缩压升高明显，脉压增大。当每搏输出量减少时，主要造成收缩压降低，脉压减小。以上说明收缩压能反映每搏输出量的多少。

（2）心率：其他因素不变，若心率加快，由于心舒期缩短明显，在心舒期内流向外周血量减少，使该期末存留在大动脉内血量增多，故舒张压升高。因动脉血压升高而使血流速度加快，在心缩期内流向外周血量较多，故收缩压升高不如舒张压升高明显，脉压减小。当心率减慢时，舒张压降低明显，脉压增大。

（3）外周阻力：如果外周阻力增大而其他因素不变时，心舒期中血液流向外周的速度减慢，心舒期末存留在大动脉内血量增多，而使舒张压升高。在心缩期内，由于动脉血压升高而使血流速度加快，流向外周血量较多，故收缩压不如舒张压升高明显，脉压减小。外周阻力减小时则舒张压降低明显，脉压增大。因此，舒张压高低主要反映外周阻力的大小。原发性高血压主要是阻力血管口径变小，使外周阻力增大，故舒张压升高明显。

（4）大动脉管壁的弹性：大动脉管壁弹性因能缓冲动脉血压的变化而使收缩压不致过高，舒张压不致过低，脉压减小。一般说来，40 岁以下的人大动脉管壁弹性无明显变化。40 岁以上，由于管壁的胶原纤维增生逐步取代弹性纤维，使管壁弹性减弱，缓冲血压的作用减小，造成收缩压升高而舒张压降低，脉压增大。而老年人的小动脉往往伴有硬化而使口径变小，使外周阻力增大，故舒张压也升高。

（5）循环血量与血管容积：正常情况下循环血量与血管容积相适应，保持血管内有足量血液充盈，这是形成动脉血压的重要前提。如果发生大失血使循环血量明显减少，而血管容积未相应减小，则引起动脉血压急剧下降。若因细菌毒素的作用或药物过敏而使全身小动脉扩张时，血管容积增大而循环血量并未改变，此时因血管充盈度降低导致血压急剧下降。

上述为单一因素改变对动脉血压的影响。实际上，某种生理或病理情况下动脉血压的改变，往往是多种因素相互作用的结果，但总有一种因素起主要作用。

32. 如何证明主动脉神经是传入神经？

答：可以先剪断主动脉神经，再分别刺激中枢端及外周端，如果刺激中枢端能使血压降低，而刺激外周端后血压没有反应，则可说明主动脉神经是传入神经。

33. 如何证明迷走神经外周端对心脏有调节作用？

答：参照实验步骤，剖开家兔胸腔，将心脏与张力传感器连接，先记录一段正常的张力曲线，然后剪断迷走神经，再记录一段张力曲线，均作为对照用，此时刺激神经外周端，记录张力曲线，观察三条曲线是否有明显变化。若刺激神经外周端能够引起心脏功能的明显变化，则说明它对心脏有调节作用。

34. 试分析主动脉神经放电与血压变化的关系。

答：主动脉神经是传入神经，其作用是将主动脉弓压力感受器发出的冲动传入延髓心血管中枢，反射性地引起血压降低。因此，刺激完整的减压神经或其中枢端，使传入中枢的放电增加，以致血压明显下降，而刺激其外周端虽有放电传向外周，但不会引起血压变化。

35. 根据实验结果，说明神经及相关药物对心律与呼吸的影响。

答：（1）交感神经：心交感神经的节前神经元轴突末梢释放的递质为乙酰胆碱，后者能激活节后神经元膜上的 N 型胆碱能受体；心交感节后神经元末梢释放的递质为去甲肾上腺素，与心肌细胞膜上的 β 型肾上腺素能受体结合。具有正性变时作用、正性变

传导作用和正性变力作用，即心率加快，呼吸增强。

（2）减压神经：主动脉神经亦称为减压神经。压力感受器传入的神经冲动到达孤束核后，可通过延髓内的神经通路使延髓端腹外侧部的血管运动神经元抑制从而使交感神经紧张性活动减弱；孤束核神经元还与延髓内其他神经核团以及脑干其他部位如脑桥、下丘脑等的一些神经核团发生联系，其效应也是使交感神经紧张性活动减弱。另外，压力感受器的传入冲动到达孤束核后还与迷走神经背核和疑核发生联系，使迷走神经的活动加强，即心率减慢，呼吸减弱。

（3）迷走神经：心迷走神经的节前和节后神经元都是胆碱能神经元。心迷走神经节后纤维末梢释放的乙酰胆碱作用于心肌细胞膜的M型胆碱能受体，可使腺苷酸环化酶受到抑制，因此细胞内cAMP浓度降低，肌浆网释放Ca^{2+}减少，具有负性变时、变力和变传导作用，即可导致心率减慢，心房肌收缩能力减弱，心房肌不应期缩短，房室传导速度减慢，呼吸减弱。

（4）去甲肾上腺素：去甲肾上腺素主要与α肾上腺素能受体结合，也可与心肌的β_1肾上腺素能受体结合。静脉注射去甲肾上腺素，可使全身血管广泛收缩，动脉血压升高，心率加快，呼吸增强。

（5）乙酰胆碱：乙酰胆碱作用于心肌细胞膜的M型胆碱能受体，使血管肌细胞膜超极化，减少起搏细胞的活动，抑制动作电位的发生。静脉注射乙酰胆碱，可使全身血管广泛舒张，动脉血压下降，心率减慢，呼吸减弱。

36. 刺激兔心迷走神经外周端引起血压变化的机理是什么？为何常用右侧迷走神经做此项实验？

答：两侧心迷走神经对心脏不同部位的支配有所侧重。一般说，右迷走神经在窦房结、右心房的分布占大部分，因而对心率影响较大；左迷走神经主要分布到房室结、房室束，小部分心房肌及心底部的心室肌，它对心传导影响较大。在实验中，刺激兔右侧迷走神经外周端，其中的副交感纤维兴奋，释放乙酰胆碱，作用于节后神经元，使之兴奋并释放乙酰胆碱。乙酰胆碱与心肌细胞膜上的M受体结合，使窦房结细胞在复极过程中K^+外流增加，使最大复极电位绝对值增大；另一方面，其4期K^+通透性增加导致I_k衰减过程减弱，自动去极速度减慢。这两种因素均使窦房结自律性降低，心率因而减慢。刺激强度加大时可出现窦性停搏，同时Ca^{2+}内流减少，心肌收缩力减弱，造成心输出量减少，血压降低。刺激左侧心迷走神经外周端也可使血压下降，但主要是由于乙酰胆碱抑制房室交界区细胞膜上的Ca^{2+}通道，减少Ca^{2+}内流，使其动作电位幅度减小，兴奋传导速度减慢，出现房室传导阻滞而心率减慢，进而使血压下降。故刺激左侧迷走神经出现的心率减慢及血压下降均不如刺激右侧时明显。

37. 静脉注射肾上腺素，血压常出现先升高，而后降低，然后逐步恢复，其原因如何？

答：肾上腺素对心脏的作用是使心跳加快，兴奋传导加速，心肌收缩力增强，心输出量增加。对血管的作用则主要取决于血管平滑肌上哪一种受体占优势：对α受体占优势的皮肤、肾脏、胃肠等内脏的血管，肾上腺素使它们收缩；而对β受体占优势的骨骼肌和肝脏、心脏冠脉等血管，小剂量的肾上腺素常使它们舒张，只有大剂量时，才出现缩血管反应。

静脉注射肾上腺素后，初始的肾上腺素浓度较高，对心脏和 α 受体占优势的血管发生作用，所以血压升高。随着血中肾上腺素浓度逐渐降低（剂量逐渐减小），β 受体占优势的血管扩张，引起血压降低。因而出现动脉血压先升高后降低，再逐步恢复正常的变化过程。

38. 静脉注射乙酰胆碱引起血压下降，其机理是什么？

答：乙酰胆碱可作用于血管内皮的 M 受体，促使内皮细胞释放“松弛因子”，引起血管平滑肌舒张，外周阻力降低，血压下降；乙酰胆碱与心脏各部位的 M 受体结合，引起心率变慢或停搏，心肌收缩力减弱，房室传导减慢，甚至出现房室传导阻滞。因此，乙酰胆碱的心脏效应使得心输出量减少，血压下降。乙酰胆碱能激活交感神经末梢的突触前 M 受体，使交感神经末梢释放的去甲肾上腺素减少，从而减弱交感缩血管紧张效应，这不但可降低外周阻力，减少心输出量，还可以扩张容量血管而减少循环血量，因而血压下降。

39. 何谓收缩压、舒张压？其正常值各是多少？

答：血压是指血管内流动的血液对单位面积血管壁的侧压力（压强）。心脏收缩时，动脉压的最高值称为收缩压；心脏舒张时，动脉压的最低值称为舒张压。在安静状态下，健康成人的收缩压为 13.3～16.0kPa（100～120mmHg），舒张压为 8.0～10.6kPa（60～80mmHg）。

40. 如何确定收缩压和舒张压的数值？其原理如何？

答：目前，临床上均用血压计来间接地测量血压。血压计有汞柱式、弹簧式和电子血压计。临床上最常用的是汞柱式血压计。通常血液在血管内流动时并不产生声音，但如在血管外施加压力，使血管受压变窄而形成血液涡流时，则产生声音（血管音）。因此，用压脉带在肘关节上方肱动脉处加压，当压脉带内压超过动脉的收缩压时，动脉血流完全被阻断，此时用听诊器在肱动脉压迫处下方听不到任何声音。如压脉带内压低于收缩压而仍高于舒张压时，则心脏收缩时，动脉内有血流通过，舒张时则无。血液断续通过受压血管狭窄处，形成涡流而发出声音；当压脉带内压等于或小于舒张压时，则血管内的血流无论在心缩期或心舒期均可连续通过，所发出声音的音调突然降低或消失。因此，恰好可以完全阻断血流所必需的最小管外压力（压脉带内压力）即为收缩压（即第一次发出的声音）；在心脏舒张时有少许血流通过的最大管外压力（取动脉音的音调突变或消失时的压力值）即为舒张压。

41. 测量血压时，为什么听诊器的胸件不能放在压脉带下？

答：如果将听诊器的胸件放在压脉带下，当压脉带充气后，加在肱动脉上的压力等于压脉带内的压力与听诊器胸件对肱动脉压的总和，而血压计上指示的只是压脉带对肱动脉的压力。因此，在这种情况下测得的血压数值是偏低的。正确的方法应是首先在上臂内侧摸到肱动脉搏动，然后将听诊器的胸件放在肱动脉搏动处的位置上。胸件不能压得太重，更不能压在压脉带下方进行测量。

42. 为什么不能在短时间内反复多次测量血压？

答：如果在短时间内反复测量血压，所测得的动脉血压往往偏高。其原因：①在短时间内反复多次测量血压，使肱动脉持续处于受压状态，流经肱动脉的血流减少，引起其外周的血管紧张性增加和静脉淤血；②外周阻力增大，心脏射血时所遇阻力增加，造

成心脏的搏出量减少，通过异长自身调节机制，使心输出量增加。因此，需要重复测量时，应将压脉带内气体驱尽，使被检查者手臂舒展数分钟后再进行测量。

43. 运动前后血压有何不同？其机理如何？

答：一般来说，运动后血压即刻升高。运动后动脉血压升高的机制主要有：①运动时，心交感中枢兴奋和心迷走中枢抑制，肾上腺髓质分泌增多，血中儿茶酚胺浓度升高，引起心率加快和心肌收缩力量增强；②运动时，由于肌肉节律性舒缩和呼吸运动加强，静脉回心血量增加。同时，交感缩血管神经兴奋，使容量血管收缩，也有利于回心血量增加。回心血量增多，通过心肌的自身调节机制，搏出量增加。因此，心输出量明显增加；③由于运动时各器官血流量的重新分配，体循环外周阻力无明显改变。因此，运动后血压升高以收缩压升高为主。

44. 为什么在体表可以记录到心电的变化？

答：因为机体的组织与体液相当于一个容积导体，心脏位于这个容积导体的内部。当心肌发生去极和复极变化时，心脏出现电偶，在容积导体中形成电场，这个电场随着心电偶构成的瞬时综合向量的变化而变化，并可通过导电组织和体液传到体表。因此，在身体表面安置探测电极，可以记录到这些电极下面的心电变化。

45. 何谓导联？常用的心电图导联有哪些？

答：将电极置于人体表面的不同两点并与心电图机连接构成电路，即可描记出一系列心电图波形。这种放置电极的方法和与心电图机的连接方式，称为心电图的导联。

常用的心电图导联有：

(1) 标准导联（导联的两个电极放置在肢体上)：Ⅰ导联（右臂-左臂)、Ⅱ导联（右臂-左足)、Ⅲ导联（左臂-左足)。

(2) 加压单极肢导联（探查电极放置在肢体上，另一电极接至“中心电站”，并撤去该肢体与“中心电站”的连线)：aVR（探查电极放置于右臂)、aVL（探查电极放置于左臂)、aVF（探查电极放置于左足)。

(3) 单极胸导联（探查电极放置胸部某个位置；另一电极连至“中心电站”)：常用的有 V_1、V_3、V_5。V_1（探查电极放在右侧第四肋间靠近胸骨右缘)，V_3（探查电极放在左侧第四肋间靠近胸骨左缘与左锁骨中线第五肋间相交处之间)，V_5（探查电极放在左腋前缘与第五肋向相交处)。

46. 心电图基线不稳、曲线毛糙的常见原因有哪些？

答：(1) 心电图机预热时间不够。充分预热即可解除。

(2) 肌电干扰。稳定受试者情绪，解开腰带，平稳呼吸，躯体放松，即可排除。

(3) 导联接触不良。在安置电极板处用酒精棉球擦去皮脂后，再涂以少许导电膏，以降低接触电阻，确保良好导电性能，并使电极与皮肤接触紧密。

(4) 周围有交流电场及磁场干扰。

可采用下列措施：①保证机器接地良好；②防止心电图导联线与电源线平行排列；③暂时停止使用附近的电子仪器。并拔去电源插头；④受试者的手表及金属物件也是产生干扰磁场的来源，测试时也应取下；⑤他人不得与受试者或检查床接触；⑥在无法排除交流干扰时，可采用直流电源；⑦受试者应避免在铁制床上检查。

47. 阐述心电图各个波的生理意义。如果 P-R 间期延长超过正常值，说明什么问

题？当超过一定数值时，表明心脏发生了何种疾病？

答：典型的心电图有P、Q、R、S、T五个波，有时在T波之后还出现一个小的U波。其中Q、R、S又合称为QRS波群。典型心电图P波：反映两心房兴奋时的电位变化。持续时间代表心房兴奋传导的过程。QRS波群：反映兴奋在心室各部位传导过程中的电位变化。波群起点标志心室已有一部分开始兴奋，终点标志两心室均已全部兴奋，各部位之间暂无电位差，曲线又回至基线。T波：它反映心室肌复极化过程中的电位变化。因为不同部位复极化先后不同，它们之间又出现电位差。T波终点标志两心室均已全部复极化完毕。P-R间期：是从P波起点到QRS波群起点之间的时程，为0.12～0.20s。P-R间期代表由窦房结产生的兴奋经由心房、房室交界和房室束到达心室，并引起心室开始兴奋所需要的时间，故也称为房室传导时间；它是反映心房开始兴奋到心室开始兴奋所经历的时间。如果P-R间期延长超过正常值，说明窦房结发出的兴奋由心房传到心室延长了，房室传导阻滞，如心肌细胞间缝隙连接数量减少，在某些病理状态下，如心肌缺血，细胞间缝隙连接可以关闭，使得兴奋的传导速度明显减慢。

48. 心电图与心肌细胞动作电位有何不同？

答：首先是测量方法不同，单个心肌细胞的电位变化是由细胞内电极记录法得到的，而心电图的记录方法是细胞外记录法。其次，心肌细胞的电位变化是单个心肌细胞在静息或兴奋时膜内外的电位差及其变化；而心电图反应的则是整个心脏在兴奋过程中的综合电位变化，心电图上每一瞬间的电位数值，都是很多心肌细胞电活动的综合效应在身体这个容积导体的不同部位的反映。最后，用细胞内电极记录心肌细胞的电位变化时，在同一个细胞上记录到的图形是恒定的；而在记录心电图时，将记录电极放置在身体表面的不同部位，所记录的心电图波形是不同的。在临床上，可根据各个导联记录的心电图波形的改变作为对心脏疾病的诊断依据之一。

49. Q-T间期的正常值与心律有何关系？

答：P-R间期与Q-T间期可以反映兴奋传导的速度。Q-T间期是指从QRS波起点到T波终点的过程，代表心室开始去极化到完全复极化所经历的时间。Q-T间期与P-R间期的长短与心率成反比关系，心率愈快，Q-T间期愈短。

第七章 消　　化

1. 为什么加入各种药物会引起离体肠段活动的变化？其机理是什么？

答：能与肾上腺素结合的受体称为肾上腺素能受体，主要分为α型和β型。小肠平滑肌的受体主要是α_2和β_2型，这两者与肾上腺素结合后产生的平滑肌效应都是抑制性的。所以滴入肾上腺素后，小肠兴奋性降低，收缩减慢。

乙酰胆碱是肠内在神经系统中存在的主要神经递质。以乙酰胆碱为配体的受体称为胆碱能受体。当乙酰胆碱作用于这些受体时，可产生一系列自主神经节后胆碱能纤维的兴奋效应，包括支气管平滑肌的收缩，胃肠平滑肌的收缩，消化腺分泌的增加和骨骼肌血管的舒张。乙酰胆碱在肠内的主要作用是支配平滑肌。所以滴入乙酰胆碱后肠段兴奋性增强，收缩加快，幅度变大。

阿托品是乙酰胆碱受体的阻断剂，能竞争性抑制乙酰胆碱与胆碱能受体的结合，阻

断兴奋效应。它还可以封闭迷走神经，只剩下交感效应，小肠在迷走神经的作用下活动会增加，而在交感神经作用下活动减弱。

2. 加入阿托品后再加入乙酰胆碱，肠段活动会受到抑制，为什么？

答：因为阿托品是乙酰胆碱受体的阻断剂，能竞争性抑制乙酰胆碱与胆碱能受体的结合，阻断兴奋效应。所以加入阿托品后小肠段收缩明显减慢，甚至出现了不收缩现象，兴奋性大大降低。另外，阿托品可以封闭迷走神经，迷走效应不会出现，只剩下交感效应，小肠在迷走神经的作用下活动增加，而在交感神经作用下活动减弱，但上述情况会随肠肌的状态而定，例如，肠肌紧张性高——→副交感或交感——→抑制运动；肠肌紧张性低——→副交感或交感——→运动增加。乙酰胆碱还可能增加了肌肉紧张度，故抑制了肠段活动。

3. 根据实验结果说明平滑肌的生理特性。

答：消化道平滑肌具有肌组织的共同特性，如兴奋性、自律性、传导性和收缩性，但这些特性的表现均有其自己的特点。

消化道平滑肌的兴奋性较骨骼肌为低。收缩的潜伏期、收缩期和舒张期所占的时间比骨骼肌的长得多，而且变异很大。

消化道平滑肌在离体后，置于适宜的环境内，仍能进行良好的节律性运动，但其收缩很缓慢，节律性远不如心肌规则。

消化道平滑肌经常保持在一种微弱的持续收缩状态，即具有一定的紧张性。消化道各部分，如胃、肠等之所以能保持一定的形状和位置，同平滑肌的紧张性有重要关系；紧张性还使消化道的管腔内经常保持着一定的基础压力；平滑肌的各种收缩活动也都是在紧张性基础上发生的。

消化道平滑肌能适应实际的需要而做很大的伸展。作为中空的容纳器官来说，这一特性具有重要生理意义。它使消化道有可能容纳好几倍于自己原初体积的食物。

消化道平滑肌对电刺激较不敏感，但对于牵张、温度和化学刺激则特别敏感，轻微的刺激常可引起强烈的收缩。消化道平滑肌的这一特性是与它所处的生理环境分不开的，消化道内容物对平滑肌的牵张、温度和化学刺激是引起内容物推进或排空的自然刺激因素。

4. 制备小肠平滑肌标本时，为什么不用药物麻醉后的兔小肠，而用击昏后的兔小肠？

答：小肠平滑肌对化学物质比较敏感，如用乌拉坦或戊巴比妥钠等药物麻醉家兔后，会较长时间地抑制小肠平滑肌的活动，这会影响小肠平滑肌生理特性的实验观察。因此，为了排除药物因素的干扰，在制备小肠平滑肌标本时，应采用迅速击昏家兔，快速剖腹剪取小肠平滑肌的方法。

5. 制备小肠平滑肌标本时，为什么要取小肠上段，尤其是十二指肠段的平滑肌？

答：小肠平滑肌生理特性实验主要观察它的收缩、舒张情况，而小肠平滑肌的收缩、舒张活动与其基本电节律有关。基本电节律是一种自发的节律性的去极化波。一般认为，基本电节律是平滑肌收缩节律的控制波。小肠各段的基本电节律的频率不相同，从小肠上段到下段其频率呈递减现象。如十二指肠的基本电节律约为 11 次/min，回肠末端则为 3 次/min，比较起来，小肠上段尤其是十二指肠活动频率最高。所以，制备

小肠肠段时，应取十二指肠和空肠上段为好。

6. 离体平滑肌实验中，为什么要不断供氧？供氧应遵循的原则是什么？

答：小肠平滑肌收缩需要消耗能量，而能量来源于物质的氧化。因此，在观察小肠平滑肌运动实验的过程中，需供给氧气。所供的氧通常采用空气中的氧，供氧的原则是持续不断地一个气泡一个气泡地供给，气泡与气泡之间的时间间隔要一致，而且气泡要小，这样可以避免因气泡不匀、气泡过多或过大冲击灌流液造成肠管和悬线摆动，影响描记曲线而出现的误差。气泡供应量一般为 30 个/min，以维持灌流液中氧含量的恒定。

7. 小肠平滑肌节律性舒缩活动不好甚至不出现，是何原因？

答：(1) 制备肠段标本过程中，使肠管损伤太大。

(2) 冲洗离体肠段时，如误用自来水或蒸馏水，或用过期失效、温度太高的台氏液，都可使肠段活动受抑。

(3) 标本制备过久，储存不当。例如，没有放在低温环境中（应放在 4℃冷藏柜），肠段全部浸泡在台氏液中，造成肠肌缺氧等。正确方法是肠段应放在置有台氏液的平底器皿中，2/3 的肠段浸泡在溶液内，1/3 的肠段应暴露在空气中，暴露的肠段部分应盖上一层浸渍台氏液的脱脂棉。

(4) 肠段取材部位不当。靠近十二指肠处其节律性收缩越好，靠近回肠处其节律性收缩越差。

(5) 实验中固定小肠两端时紧张度不当，牵拉肠管太紧或太松都会影响肠肌收缩曲线的描记。

(6) 实验过程中供氧不当。

(7) 实验过程中台氏液温度控制不当。

8. 描记肠段收缩时显示出现基线不稳定，是何原因？

答：可能有以下原因：

(1) 供氧通气量太大，引起标本振动；或供氧通气量时大时小，造成基线漂移。

(2) 标本及固定杆未固定好，造成晃动。

(3) 肠段上端与描记装置的连线不成垂线。

(4) 更换台氏液时温度及容量不适当；或更换台氏液时放液速度大于加液速度，使标本贴附在浴槽壁上从而影响记录。解决这个问题的办法是：更换台氏液时停止记录，待更换数次台氏液后，肠管活动恢复正常时，再行描记。

9. 描记肠段收缩曲线幅度太大，是何原因？

答：主要由于剪取的肠段太长，同步收缩力量过大（肠段以 2～3 cm 长为宜）。

10. 肠段收缩曲线幅度太小，是何原因？

答：此现象除与标本机能状态、供氧、温度及前次药物的残余作用有关外，还可能与肠段与换能器连线太紧，记录系统的增益不当等原因有关。

11. 滴加药物后，肠段活动会出现什么变化？为什么？

答：滴加药物后，有时会出现下列异常情况：

(1) 药物效应迟迟不出现。这可能与药物配制时浓度误差、药液剂量、药物效能以及标本机能状态和兴奋性等原因有关。

（2）效应出现后恢复不佳。这种情况多见于某种药物作用于肠管后，用台氏液冲洗不及时、冲洗不完全或出现不可逆反应（主要由于药物浓度太大或作用时间太久所致）。

（3）出现与预期相反的结果。如肌张力很高时，滴加乙酰胆碱后，反而使肌张力下降；当肌张力很低时，滴加肾上腺素后，反而使肌张力增强。

12. 滴加肾上腺素后，肠管活动会出现什么变化？为什么？

答：在浴槽中加入 1∶10 000 肾上腺素 1～2 滴（约 0.2mL）后，离体肠管活动减弱，描记曲线出现收缩频率变慢，幅度减小以及基线下移。其机理目前认为与肠肌细胞膜上存在 α 和 β 两种受体有关，α 受体又分为 α 抑制型受体和 α 兴奋型受体。肾上腺素作用于 α 抑制型受体，使通道开放，从而使 K^+ 外流增多，细胞膜发生超极化，肠肌兴奋性降低，肌张力下降。同时，肾上腺素还作用于 β 受体，它的激活引起了肠肌膜细胞中的 cAMP 合成增多，cAMP 激活肌膜及肌浆网上 Ca^{2+} 泵活动，使肌浆中 Ca^{2+} 浓度降低，也使肌张力降低。β 受体激活后还促使 K^+ 及 Ca^{2+} 外流增加，加速膜的超极化，促进了肠肌肌张力的降低。

13. 肠管肌张力较低时，滴加肾上腺素反而引起肌张力增高，是何原因？

答：平滑肌肌膜上的受体有兴奋型和抑制型两种，在一定条件下，两者可以相互转变。如肾上腺素持续作用于肠肌，则由于 K^+ 外流量增加，膜外 K^+ 的浓度增高，可使超极化作用转为去极化作用。所以，当 α 抑制型和 β 受体长期激活兴奋，肌张力很低，肌膜外 K^+ 的浓度增高时，再给肾上腺素有可能使 α 抑制型转化成 α 兴奋型，使肠肌去极化，肌张力增加。

14. 滴加乙酰胆碱后，肠管活动会发生什么变化？为什么？

答：消化道平滑肌细胞产生动作电位的离子基础是 Ca^{2+} 的内流。乙酰胆碱（ACh）可与肌膜上的 M 受体结合，使得两类通道开放：一类为电位敏感性 Ca^{2+} 通道；另一类为特异性受体活化 Ca^{2+} 通道。前一类通道对 ACh 敏感，小剂量即引起开放；后一类通道对 ACh 相对不敏感，只有大剂量 ACh 才会引起开放。这两类通道开放都使得肌浆中 Ca^{2+} 增高，进而激活肌纤蛋白-肌凝蛋白- ATP 系统，使平滑肌收缩，肌张力增加。

15. 肌张力很高时，滴加乙酰胆碱反而使肌张力降低，是何原因？

答：乙酰胆碱（ACh）长期作用于肠肌平滑肌细胞后可引起：①M 受体脱敏感；②肌膜内外离子梯度变化，如 Na^+ 升高和 K^+ 升高，将促使 Na^+-K^+ 泵活动增强，使肌膜超极化；③肌膜内的 cAMP 含量增加，促使肌浆网及肌膜上的 Ca^{2+} 泵活动加强，肌浆内 Ca^{2+} 下降，以上三种情况均使肌张力降低。因此，当肌张力很高并长期激活 M 受体时，再给 ACh 就可能使肌张力降低。

16. 进行哺乳动物离体组织器官实验时，需要控制哪些条件？

答：为了使哺乳动物离体组织器官保持生理活性，必须使标本离体后仍处于体内环境相似的条件下。因此应该将标本置于适当的液体环境中，并控制液体的温度、pH 及含氧量，同时还应该根据不同标本的需要加入 K^+、Na^+、Ca^{2+} 等不同离子。具体可分为以下三方面：

（1）哺乳动物组织器官的正常生理活动必须在有氧环境下才能进行。当环境中氧气量减少或缺氧时，组织中各种细胞的代谢将被削弱甚至抑制。长时间的缺氧最终会导致组织器官丧失活性。

（2）温度对细胞内酶的活性有重要影响。过高或过低的温度都将抑制酶的催化效应，从而干扰细胞正常的生理、生化反应。人工控制的温度如接近实验动物的体温，离体组织细胞内的酶就能保持良好活性。

（3）细胞需要与外界进行物质交换，获取营养，排除废物。合理的人工代替液为离体组织器官提供了类似机体环境的营养、酸碱度和渗透压，对暂时维持其正常生理活动发挥重要作用。

第八章　呼　　吸

1. 分析讨论各种因素引起呼吸运动变化的机理。

答：呼吸运动是一种节律性运动，其深度和频率受神经系统和体液因素的调节，可随机体活动水平而改变。体内外各种刺激，有的作用于呼吸中枢，有的则由不同的感受器，反射性地影响呼吸运动。肺牵张反射是保证呼吸运动节律的机制之一。血液中CO_2分压的改变，是通过中枢性和外周性化学感受器的刺激及反射性调节，来保证血液中气体分压稳定的重要机制。当人体在运动时，肌肉活动所产生的二氧化碳，能刺激呼吸中枢，使呼吸加快、加深，以促进二氧化碳的排出及氧气的吸入。

2. 为什么每项实验前要有对照曲线，实验后要记录一段恢复过程的曲线？

答：通过与对照曲线比较可以看出某些因素对呼吸运动的影响（加快或减慢），实验后记录恢复曲线可以评价机体的恢复水平。

3. 测量呼吸曲线的原理是什么？呼吸曲线受什么因素的影响？

答：呼吸时胸廓的大小变化可以通过呼吸传感器记录下来，成为呼吸运动曲线。

呼吸运动曲线与受试者和所处的环境状态有关，影响因素包括意志情绪、运动、所受的刺激、温度、空气含氧量等。

4. 根据所学理论，逐一分析实验结果，说明呼吸运动发生改变的机理？

答：（1）在增加了无效腔后，吸气强度有所增加，但不是很明显，随后呼气强度也有所增加，可见，增加无效腔相当于增加了气管的长度，使得机体要在相同时间内保持相同的空气输入量，只有通过增强呼吸作用，尤其是吸气作用的增强来实现。

（2）增加呼吸阻力后，吸气作用有了比增加无效腔后更强的增强，因为增加呼吸阻力所采取的方法不亚于窒息，所以，家兔只有增强更大的吸气程度来维持供养。

（3）在向肺注入20mL空气后，由于肺中空气过于增多，使得呼气作用非常强烈，而且吸气强度减小，时间延长，吸气的这种反应是为了使肺中的多余空气尽快排除。

（4）在向肺中抽出20mL空气后，吸气作用明显增强，不但强度增大，而且时相增长而呼气作用明显减弱，强度变小，时相变短，呼气作用的这种改变使得肺能够尽快补足缺少的空气，使肌体的呼吸能重新达到平衡。

（5）同时结扎双侧迷走神经，由于迷走神经对呼吸的神经控制被切断，使得呼吸的强度有所增强，但不十分明显，主要原因是这种切割并不是刺激，也不是神经调节，而是呼吸肌失去了迷走神经持续的一种抑制。所以，在切断双侧迷走神经后，呼吸有一定但不明显的加强。

（6）切断迷走神经后，向肺中注入20mL空气，由于缺少了迷走神经对呼吸肌的抑

制作用，虽然肺中已经有过量空气，但是吸气作用并没有减弱，相反，可能由于肌肉的牵张，使得呼气作用有所下降，所以出现与前面相反的结果，吸气作用增强，而呼气作用减弱。

（7）机制同上，在切断双侧迷走神经，抽取 20mL 空气后，由于缺少了迷走神经对呼吸肌的抑制，呼气作用反而增强，而吸气作用反而减弱，造成与前面实验相反的效果（可能上述两种现象是机体正反馈的结果，由于缺少了迷走神经的负反馈，造成现象同前实验结果相反）。

（8）刺激迷走神经的中枢端，模拟机体通过迷走神经向大脑产生负反馈的过程，可见，这种通过神经系统调节的反馈非常及时，具有神经系统调节的特点，然而在交感神经的支配下，呼吸运动又在一定时间内恢复到正常水平。

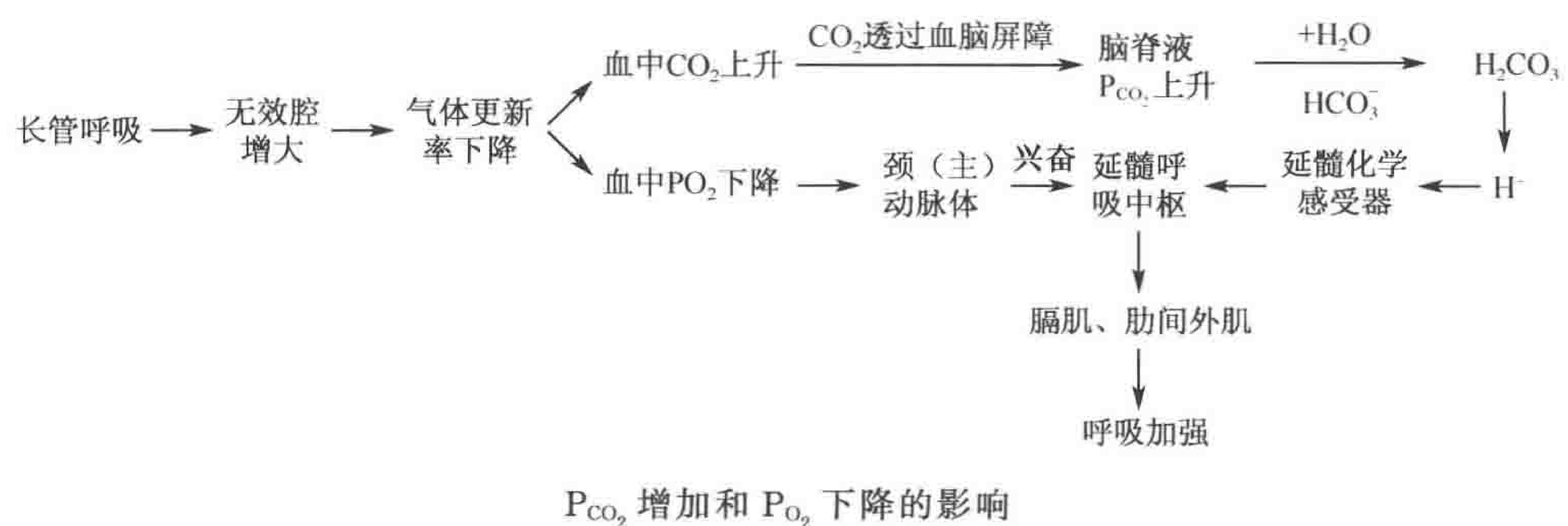
（9）刺激迷走神经的外周端，模拟迷走神经向呼吸肌发出抑制信号的过程，但是这种过程并不是完全的，因为抑制呼吸运动的神经冲动并能精确模拟，我们看到的只是伪负反馈所产生的类似抑制作用，所以，这种抑制作用并没有上面那样明显。

5. 肺牵张反射实验中，为什么要求注气与抽气的时间限定在三个正常呼吸节律？时间长一些会有什么问题？

答：因为牵张感受器的阈值低，适应慢，所以当注气和抽气的时间过长，会使吸气被长时间抑制或延长，影响肺换气，有可能导致动物窒息。

6. 增加无效腔时，呼吸运动会有何变化？为什么？

答：把 50 cm 长的橡皮管连接在气管插管的侧管上，使动物通过橡皮管进行呼吸，呼吸运动会加深加快。因为人为地增大了无效腔，减少了肺泡通气量，降低了气体更新率，导致血中 P_{CO_2} 增加、P_{O_2} 下降。同时，气道加长，使呼吸气道阻力增大，从而使呼吸加深加快，其作用的机制如下：



P_{CO_2} 增加和 P_{O_2} 下降的影响

7. 切断双侧颈迷走神经后对呼吸有何影响？为什么？

答：切断双侧颈迷走神经后，动物的呼吸运动呈慢而深的变化。

迷走神经中含有肺牵张反射的传入纤维。肺牵张反射中的肺扩张反射（又称吸气抑制反射）的生理作用，在于阻止吸气过长过深，促使吸气及时转入呼气，从而加速了吸气和呼气动作的交替，调节呼吸的频率和深度。当切断两侧颈迷走神经后，中断了肺牵张反射的传入通路，肺牵张反射的生理作用被消除，因此呈现出慢而深的呼吸运动，使吸气延长。

8. 电刺激迷走神经向中枢端时，呼吸运动会不会发生变化？其机制如何？

答：以中等强度电刺激一侧迷走神经向中枢端，一般可导致呼吸运动暂停。因为肺的牵张反射包括肺扩张后反射性地引起吸气动作的抑制，或者是肺缩小后反射性地抑制呼气动作，使吸气加强。这两种反射的传入纤维都经迷走神经兴奋，产生传入冲动到达呼吸中枢，导致呼吸运动的改变。由于电刺激引起的传入冲动持续性地传到呼吸中枢，抑制了呼吸运动，故出现呼吸暂停的现象。

9. 根据实验结果分析肺牵张反射对维持正常呼吸节律的意义。

答：由肺扩张或缩小所引起的反射性呼吸变化，称为肺牵张反射。其感受器主要分布在支气管和细支气管的平滑肌层中，一般称为肺牵张感受器。吸气过程中，当肺扩张到一定程度时，肺牵张感受器兴奋，发放冲动增加。冲动沿迷走神经传入纤维到达延髓，抑制吸气中枢的活动，促使吸气向呼气转化，最后吸气终止，发生呼气。呼气时肺缩小，对牵张感受器的刺激减弱，传入冲动减少，解除了对吸气中枢的抑制，吸气中枢再次兴奋，开始又一个呼吸周期。肺牵张反射是一种负反馈调节机制，其生理意义是使吸气不致过长、过深，促使吸气及时转入呼气。它与脑桥呼吸调整中枢共同调节呼吸的频率和深度。

10. 阐明迷走神经在呼吸运动调节中的作用。

答：迷走神经是第 10 对脑神经，是人体中行程最长、分布最广的一对含有感觉、运动和副交感神经纤维的神经。迷走神经的主要作用是将来自肺部的冲动传入至呼吸中枢，例如，来自肺部的迷走神经的传入冲动具有抑制吸气的作用。如果在脑桥上、中部之间横切（B 平面），呼吸将变慢变深，如再切断双侧迷走神经，吸气便大大延长，仅偶尔为短暂的呼气所中断，这种形式的呼吸称为长吸呼吸。又如在肺的扩张反射时，如果牵张感受器的兴奋由于双侧迷走神经的切断而不能传入呼吸中枢，动物的吸气过程延长，吸气加深，呼吸变得深而慢。

第十章　尿生成及调节

1. 静脉注入垂体后叶素后，尿量有何改变？机制如何？

答：垂体后叶素含有催产素和抗利尿激素两种成分，影响尿量变化的是抗利尿激素（ADH），因此静脉注入垂体后叶素后，通过 ADH 的作用使其尿量减少，其作用机制有如下方面：

（1）ADH 与远曲小管后段和集合管上皮细胞管周膜与管腔膜上的受体结合后激活腺苷酸环化酶，使细胞中 cAMP 增加，然后在 cAMP 依赖性蛋白激酶系统的作用下，上皮细胞管腔膜蛋白磷酸化，成为磷酸化膜蛋白，改变膜的构型，蛋白颗粒聚集成簇，导致水分子通道的开放，即提高管腔膜对水的通透性。在膜两侧渗透压的驱使下，水分子通过管腔膜被重吸收，从而使尿量减少。

（2）ADH 使肾髓质中直小血管收缩，减少局部血流量，使肾髓质间隙的高渗状态保持在有利于水重吸收的水平，从而使尿量减少。

（3）ADH 可以促进髓袢升支粗段的 NaCl 转运而有利于对水重吸收，使尿量减少。

（4）垂体后叶素有使血管平滑肌收缩的作用。当 ADH 用量较大时，血管收缩。外

周阻力增大，升高的血压通过窦弓反射使心跳减慢变弱。大量 ADH 亦使心脏冠状血管收缩，心肌供血不足，心肌收缩力变弱，两种因素可使血压下降。血压下降可反射性地引起 ADH 分泌与释放增加，使尿量减少。

(5) 垂体后叶素用量大时，还可使肾血管收缩，肾血流量减少，肾小球毛细血管压降低，有效滤过压下降，尿量减少。

2. 给家兔一次静脉注入 50%葡萄糖溶液 3mL，尿量发生什么变化？为什么？

答：可见尿量立即大量增加。其原因是注入 50%葡萄糖溶液 3mL，使家兔血液循环中增加了 1500 mg 葡萄糖，如一只家兔体重为 2.5kg，其血容量按每公斤体重 55mL 计算约 130mL，这样 100mL 血中就增加了 1150 mg 葡萄糖，加上家兔本身血糖浓度假定为 100 mg%，此时，血糖浓度可高达 1250 mg%。这个数值大大超过了肾糖阈（160～180 mg%），经肾小球滤出的大量葡萄糖不能被肾小管上皮细胞全部重吸收，致使肾小管液中出现较多的葡萄糖，使肾小管液中渗透压增加，妨碍水的重吸收，于是水随葡萄糖一起排出，尿量便增加。此种现象称为渗透性利尿。

3. 静脉注射大量生理盐水导致尿液增多的机理是什么？

答：正常成人的血液总量（简称血量）约为体重的 7%～8%，即每公斤体重约有 70～80mL 血液。而家兔的血液总量约为体重的 5.5%，即每公斤体重约有 55mL 血液。如家兔体重为 2.5kg，其血液量约为 138mL。快速给家兔静脉一次性注射 20～30mL 生理盐水，使血容量增加 15%～22%，会引起下列情况：

(1) 血液被稀释，血浆胶体渗透压下降，肾小球有效滤过压增加，肾小球滤过率增加，尿量增多。

(2) 大量生理盐水进入血管，使血容量增加，肾小球血浆流量增加，尿液滤过分数降低，管周压升高，加上血浆胶体渗透压降低，这两种因素皆造成肾小管集合管对水的重吸收减少，阻碍了钠、水的重吸收，故尿液增多；同时，肾小球血浆流量增加，使尿液滤过增多，也促使尿液增加。

(3) 血容量增多，刺激左心房及胸腔大静脉容量感受器，冲动沿迷走神经上传到下丘脑的视上核、室旁核，使抗利尿激素（ADH）的分泌与释放减少，远曲小管、集合管对水的重吸收减少，尿液增多。

(4) 血容量增多，血压升高，颈动脉窦和主动脉弓压力感受器接受刺激增强，通过神经上传使 ADH 分泌和释放减少，尿量增多。

第十一章　中枢神经系统

1. 根据实验结果，说明大脑皮层运动区的机能特征。

答：大脑皮质运动区通过锥体系和锥体外系控制脊髓前角运动神经元和脑神经运动神经元的活动，以支配肌肉的运动。皮质运动区对肌肉运动的支配呈有序的排列，且随动物的进化逐渐精细。鼠和兔的大脑皮质运动区机能定位已具有一定的雏形，而灵长类动物和人类的皮质运动区已具有精细的机能定位。电刺激大脑的某些部位，能引起特定肌肉或肌群的收缩运动。

在灵长类动物，大脑皮层运动区主要为初级运动皮层和运动前区。一般认为，初级

运动皮层负责运动的执行，而运动前区主要是参与运动的策划。

初级运动皮层位于中央前回。初级运动皮层有以下功能特征：① 对躯体运动的调节为交叉性支配，即一侧皮层支配对侧躯体的肌肉。但在头面部，除下部面部和舌肌主要受对侧面神经和舌下神经支配外，其余多数为双侧性支配；② 具有精确的机能定位，即刺激一定部位的皮层运动区引起身体一定部位的肌肉收缩。功能代表区的大小与运动的精细复杂程度有关，运动越精细、复杂的肌肉，其代表区面积越大；③代表区定位的总体安排是倒置的。

运动前区包括运动前皮层和运动辅助区两部分。与电刺激初级运动皮层引起的运动反应相比，电刺激运动前区引起运动反应所需的电流强度较大，说明运动前区到脊髓的投射很少是直接的；而且刺激引起的运动表现较复杂，常常涉及多个关节，并且是双侧性的。因此运动前区可能与运动的双侧协调有关。但运动前区更重要的作用是在于参与随意运动计划的设计和编程。

2. 说明去大脑僵直的发生机理。

答：中枢神经系统对伸肌的紧张度具有易化作用与抑制作用。易化作用使肌紧张加强，易化区主要包括前庭核、小脑前叶两侧部和网状结构易化区；抑制作用使肌紧张减弱，抑制区主要包括大脑皮层抑制区（4S 区等）、纹状体、小脑前叶蚓部和延髓网状结构抑制区。通过这两种作用，使骨骼肌保持适当的紧张性，维持机体的正常姿势。如果在动物中脑上、下丘之间横断脑干，则抑制区被切掉较多，抑制区失去较高级中枢的兴奋作用，抑制伸肌紧张性的作用减弱，而易化伸肌紧张性的作用相对加强，特别表现为伸肌紧张性亢进，动物将出现四肢僵直、头尾昂立、脊柱挺硬等反常现象，称为去大脑僵直现象。

3. 皮层诱发电位包括哪些波形成分？

答：一般包括主反应和后发放，有时主反应其后会出现次反应。

4. 皮层诱发电位是怎样产生的？

答：皮层诱发电位是在感觉器官或感觉通路上的任一点受到刺激时，在大脑皮层产生的点变化，这个电位变化不是单细胞放电，而是由细胞群体突触后电位总合而成的场电位。

5. 简述大脑皮质对躯体运动的调节。

答：大脑皮质是中枢神经系统控制和调节躯体运动的最高级中枢，它对躯体运动的控制和调节作用是通过锥体系和锥体外系实现的。

（1）大脑皮质的主要运动区：大脑皮质的某些区域与躯体运动密切相关，这些区域称为大脑皮质运动区，简称皮质运动区。在哺乳类动物，运动区主要在大脑皮质十字沟的周围。

（2）锥体系及其功能：锥体系一般是指由皮质发出经延髓锥体后行到脊髓的传导束（皮层脊髓束）。锥体系的功能在于发动肌肉收缩，调节肌肉的精细运动；同时还能使肢体运动具有合适的强度，保持运动的协调性。

（3）锥体外系及其功能：锥体外系分为两部分，皮层锥体外系和旁锥体系。由于上述两部分在后行过程中均不经过延髓的锥体，故称为锥体外系。锥体外系的主要功能是调节肌紧张，协调全身各肌肉群运动，以保护正常姿势。在家畜，锥体外系较锥体系发

达，因此在协调运动中锥体外系更为重要。

6. 去大脑僵直分为 α 僵直和 γ 僵直，如何通过实验区分这两种僵直？

答：从牵张反射的角度来分析，肌紧张加强的机制可以有两种。一种是位于高位中枢的下行性作用，直接或间接通过脊髓中间神经元提高 α 运动神经元的活动，从而导致肌紧张加强而出现僵直，这称为 α 僵直。另一种是由于高位中枢的下行性作用，首先提高脊髓 γ 运动神经元的活动，使肌梭的敏感性提高而传入冲动增多，转而使脊髓 α 运动神经元的活动提高，从而导致肌紧张加强而出现僵直，这称为 γ 僵直。经典的去大脑僵直主要属于 γ 僵直，因为在消除肌梭传入冲动对中枢的作用后，僵直现象可以消失。

实验证明，如果在猫中脑上、下丘之间切断造成去大脑僵直时，如切断动物骶部后根以消除肌梭传入的影响，则可使后肢僵直消失，说明经典的去大脑僵直是 γ 僵直；如果在上述切断后根的去大脑猫，进一步切除小脑前叶，能使僵直再次出现，这种僵直属于 α 僵直，因为此时后根已经切断，γ 僵直已经不可能发生。由此即可区分 α 僵直和 γ 僵直。

第十三章　内分泌与生殖

1. 垂体前叶有时也叫做“内分泌腺之母”，为何这样称呼？为什么这种说法是错误的？

答：垂体前叶指腺垂体，它是体内最重要的内分泌腺，含有 5 种不同的内分泌细胞，至少分泌 7 种激素，它们是生长激素、催乳素、促黑激素、促甲状腺激素、促肾上腺皮质激素和两种促性腺激素：促卵泡激素和黄体生成素。其作用十分的广泛和复杂，所以有时被称为“内分泌腺之母”。

不过，垂体包括腺垂体和神经垂体两部分，除了腺垂体，神经垂体也能分泌一些重要的激素，比如血管升压素和催产素等。而且垂体的功能要受到下丘脑的调节，因此，把垂体前叶也就是腺垂体称之为“内分泌腺之母”是不全面的。

2. 你是否认为结扎输精管会影响睾酮在血液中的浓度？试解释之。

答：不会，因为睾酮是睾丸分泌而进入血液的激素，而输精管只是将精子输出的管道，因此结扎输精管是不会影响睾酮在血液中的浓度的。

3. 在 Cushing 综合征中，肾上腺皮质分泌过量的肾上腺皮质激素，这些是什么激素？请指出肾上腺皮质激素过量分泌的可能原因。

答：Cushing 综合征又称皮质醇增多症。主要由糖皮质激素分泌过多引起。病因有：肾上腺皮质有生成皮质醇或其他糖皮质激素的腺瘤或肿瘤（肾上腺型）；腺垂体肿瘤伴有促肾上腺皮质激素分泌过多或异位促肾上腺皮质激素生成性肿瘤（垂体型）；肾上腺皮质细胞对促肾上腺皮质激素的敏感性提高（原发型）。测定促肾上腺皮质激素水平可区分这几种病因。

4. 在垂体提取物中，哪种激素主要诱导排卵的发生？

答：垂体前叶激素（anterior pituitary hormone），又称为促性腺激素（gonadotropins），特别是促卵泡激素（follicle-stimulating hormone，FSH）和黄体激素（luteinizing，LH），调节雌性的卵巢周期。虽然两栖动物的正常排卵是季节性的，但是根据需

要，大多数两栖动物可以通过注射垂体激素提取物来刺激其排卵。

5. 解释为何有Ⅰ型糖尿病病人的呼吸有“水果味”？

答：因为此类病人体内代谢会产生大量的酮体，其中丙酮等一些酮体具有水果味道，因此他们的呼吸会有“水果味”。

6. 解释为何有Ⅰ型糖尿病病人的体重会迅速下降？

答：由于此类病人体内代谢失常，能量利用减少，氮负平衡，消瘦是较晚期的症状，是组织失水和蛋白质及脂肪减少所致。

7. 试分析糖尿病产生的原因及治疗方法。

答：糖尿病是由于人体内胰岛素缺乏或胰岛素不能有效发挥作用而导致的一种终身性疾病，表现为血液中的葡萄糖浓度升高，在胰岛素（有胰腺分泌的激素）作用下，血液中的葡萄糖进入细胞内，使血液中的葡萄糖水平降低，使之维持在一个正常的范围之内，同时进入细胞的葡萄糖经一系列生物化学反应，为机体活动提供能量。当人体中缺乏胰岛素或者胰岛素不能有效发挥作用时，血液中的葡萄糖不能按正常方式进入细胞内进行代谢，血液中的葡萄糖水平异常增高，发生糖尿病。

糖尿病有四大类型：Ⅰ型糖尿病、Ⅱ型糖尿病、妊娠期糖尿病（GDM）和特异型糖尿病。前三者为主要类型。

糖尿病的分型

	Ⅰ型糖尿病	Ⅱ型糖尿病	妊娠期糖尿病
年龄	常为40岁以上	常为40岁以上	育龄期妇女
体重	消瘦	常超重	情况各异
发病	突然	缓慢	妊娠期间
病因	自身免疫，由病毒或环境因素触发	糖尿病家庭史，肥胖、不良生活方式等	糖尿病家庭史、GDM史、肥胖史
血糖水平	很高	较高	情况各异
尿酮	常有	不常有	情况各异
治疗	依赖于胰岛素治疗和生活方式的调整	生活方式的调整，可用或不用口服药或胰岛素治疗	生活方式的调整，可用或不用口服药或胰岛素治疗

8. 假设一名男性服用一种抑制5α-还原酶的药，你认为这种药对前列腺会有怎样的作用？试解释之。

答：双氢睾酮（DHT）是睾酮的重要活性形式，睾酮在前列腺内在5α-还原酶的作用下转化为DHT，DHT与前列腺细胞内雄激素受体结合，促使前列腺生长。

9. 假设上述药也能引起男性秃顶，请说出男性秃顶的原因。

答：脱发的人头皮血液中的5α-还原酶的活跃程度非常高，5α-还原酶催化睾酮生成的二氢睾酮会对毛囊产生损害，毛囊会逐渐死亡，无法再生，毛发生长期缩短，导致毛发脱落。

10. 分析催产素和肾上腺素对子宫平滑肌的作用。

答：催产素可与子宫平滑肌细胞上特异受体结合，使Ca^{2+}大量内流，提高胞内Ca^{2+}浓度，通过钙调蛋白和蛋白激酶的作用，诱发子宫平滑肌细胞收缩。但此种作用

与子宫功能状态有关。催产素对非孕子宫作用较弱，而对妊娠子宫作用较强。雌激素可提高子宫对催产素的敏感性，而孕激素的作用相反。特别在妊娠晚期，随着血中雌激素与孕激素比值的升高，子宫平滑肌对催产素的敏感性迅速增加，有利于分娩时子宫的阵发性收缩。再者，在分娩过程中胎儿刺激子宫颈也可促使催产素分泌，有助于子宫的进一步收缩。总之，催产素在分娩的全过程中均发挥重要作用。

肾上腺素对子宫平滑肌的作用与性周期、子宫充盈状态和给药剂量有关，妊娠末期能抑制子宫张力和收缩。人的子宫平滑肌含有 β 肾上腺素能受体，且以 β_2 受体占优势。松弛子宫平滑肌作用，并试用于防治早产。

11. 总结完成离体子宫平滑肌实验的关键操作步骤。

答：(1) 操作过程中应避免过度用力牵拉子宫组织，而且操作时间应该尽量短，并注意供氧。

(2) 低 Ca^{2+} 洛氏液能消除子宫平滑肌的自发运动。可把洛氏液配方中的 $CaCl_2$ 由 0.24g/L 改为 0.06g/L。

(3) 每次加入药物后的观察时间、更换新鲜营养液的次数以及两次加入药物的间隔时间均应尽可能保持一致。

(4) 由于子宫平滑肌的活动十分缓慢，其收缩频率约 0.75 次/min，电脑采样时应注意选择参数，应选择合适的扫描速度，并进行长时间记录。